



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e
Ingeniería Química

PROYECTO FIN DE CARRERA

Establecimiento del plano para la clasificación de áreas peligrosas frente a Atmósferas Explosivas en una unidad de refinería

Autor: Antonio Miguel Vílchez Bettini

Tutor: Antonio Aznar Jiménez
Ana María Paz Antolín

Madrid, Abril de 2011

Título: Establecimiento del plano para la clasificación de áreas frente a atmósferas explosivas en una unidad de refinería.

Autor: Antonio Miguel Vílchez Bettini

Director: Antonio Aznar Jiménez

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día ____ de _____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres, hermana, familia y amigos el apoyo que me han dado a lo largo de todo este tiempo y que ha hecho que sea posible la realización de este proyecto.

En especial, agradezco a Ana y a Antonio su interés y paciencia sin los cuales no habría sido posible completar con éxito este trabajo. Agradezco también al grupo Repsol YPF por la oportunidad que me han dado de trabajar con ellos y poner así fin a una primera etapa de mi vida académica.

A todos, gracias.

Resumen:

A raíz de los múltiples accidentes laborales que se han sucedido en la industria, la preocupación por garantizar la seguridad de las personas en los lugares de trabajo ha sido una constante que se ha ido desarrollando día a día. Se trata de la incorporación de criterios de seguridad y salud en todo el ciclo de actividades de la empresa, con el propósito de prevenir daños en las personas y en los bienes.

Uno de los principales riesgos en la industria es el debido a la presencia de polvo combustible en forma de nubes, o capas de polvo, que dan lugar a la aparición de Atmósferas explosivas. Por ello el objetivo de este proyecto se centrará en la obtención óptima de la clasificación de áreas en un emplazamiento concreto, debidas al polvo generado en la producción y manejo del coque de petróleo. Se van a comparar dos metodologías distintas, una cualitativa y otra cuantitativa, que determinarán la extensión de las zonas peligrosas. Se describirán las actividades y procesos de la unidad, se analizarán las fuentes de escape, las fuentes de ignición y los riesgos de explosión, y se creará un plano de clasificación de zonas peligrosas debidas al polvo combustible presente en la unidad (coque). Todo ello estará englobado en un marco normativo que deberemos tener en cuenta a la hora de realizar la clasificación de las zonas peligrosas.

Por último, analizaremos el coste que representa la realización de cada uno de los métodos mencionados, donde veremos el aumento sustancial que representa el paso de zona no clasificada a zona clasificada. Propondremos diferentes medidas de prevención de las atmósferas explosivas para reducir la probabilidad de aparición de ATEX, así como diferentes sistemas de actuación en caso de explosión, todo ello para garantizar la mayor seguridad en la unidad.

Abstract

Because of the many accidents that have occurred in the industry, the concern to ensure the security of people in the workplace has been a constant that has been developing day by day. That's the incorporation of health and safety criteria throughout the cycle of business activities, in order to prevent damage to persons and property.

One of the main risks in the industry is due to the presence of combustible dust in the form of clouds or dust layers, giving rise to explosive atmospheres. So the objective of this project will focus on obtaining optimal classification of areas in a single location due to dust generated in the production and handling of petroleum coke. In this project, we compare two different methodologies, qualitative and a quantitative one, which will determine the extent of the danger zones. We have to describe the activities and processes of the Unit, analyzing the sources of escape, sources of ignition and explosion hazards, and create a plan of classification of hazardous areas due to combustible dust present in the Unit (coke). All of them will be embedded in a regulatory framework that we must take into account when making the classification of hazardous areas.

Finally, we analyze the cost to carry out each of the above methods, where we see the substantial increase that represents the transition from unclassified to classified zone. We also propose various measures to prevent explosive atmospheres to reduce the likelihood of ATEX and various systems of action in case of explosion, all to ensure safety on the Unit.

Índice

1.- Introducción.....	15
2.- Objeto	17
3.- Marco normativo.....	18
4.- Memoria del proyecto	23
4.1.- Peligros de explosión y de incendio	23
4.1.1.-Explosiones iniciadoras de fugas.....	24
4.1.2.-Explosiones como consecuencia de fugas	25
4.1.3.-Peligros de explosión por polvos combustibles	26
4.2.- Caracterización de las sustancias pulverulentas	29
4.2.1.- Características generales	30
4.2.2.- Sensibilidad a la ignición	31
4.3.- Determinación de fuentes de escape.....	34
4.3.1-Fuentes de escape	34
4.3.2.- Influencia de las condiciones de escape	37
4.3.3.-Fuentes de ignición.....	39
4.4.-Clasificación de los equipos y aparatos para ATEX.....	44
4.4.1.-Definición.....	44
4.4.2.- Clasificación.....	44
4.4.3.- Marcado de los equipos	46
4.5.- Implantación general de la planta.	50
4.6.- Descripción del proceso y/o actividades.	51
4.6.1.- Descripción del proceso de la unidad de coquización.	51
4.6.2.-Descripción del proceso del parque de recogida de coque.	63
4.6.2.1.-Descripción general del proceso.....	63
4.7.-Lista de equipos y fuentes de escape.	76
4.8.- Descripción de las sustancias / parámetros de seguridad.	78
5.- Criterios generales para la evaluación del riesgo.....	83
5.1.- Método cualitativo.	85
5.2.- Método cuantitativo.	86
6.- Presentación de resultados para el método cuantitativo.	96
7.1.- Medidas técnicas.	97
7.2.-Sistemas de detección, medición y mando para la protección y prevención contra explosiones.	108
7.2.1.- Sistema de supresión de la explosión	108
7.2.2.-Aislamiento e interrupción de la explosión, “desconexión”	111
7.2.3.-Dispositivos apagallamas para gases, vapores y nieblas.....	112
7.3.- Medidas organizativas.	115
7.3.1.- Formación e información de los trabajadores	115
7.3.2.- Instrucciones de trabajo	116
7.3.3.- Autorización de trabajos	117
8.- Señalización de zonas para atmósferas explosivas.....	120
9.- Presupuesto/Estudio de viabilidad económica.....	122
9.1.- Objetivo del estudio.	122
9.2.- Valoración económica del coste de ingeniería.....	122

9.2.1.- Método cualitativo	122
9.2.2.- Método cuantitativo.....	123
9.3.- Beneficios de invertir en seguridad.	123
9.3.1.- Costes de invertir en seguridad	124
9.4.- Comparación de resultados.	126
10.- Conclusiones	128
11.- Definiciones	129
12.- Anexos	135
12.1.- Anexo I: Planos	135
12.2.- Anexo II: Clasificación de las fuentes de escape y fuentes de ignición.....	145
12.3.- Anexo III: Resultados de la clasificación de zonas para el método cuantitativo	159
13.- Bibliografía	164

Índice de imágenes

FIGURA 1. ESTRUCTURA DUAL DE LA LEGISLACIÓN ATEX.....	19
FIGURA 2. PANORAMA DE LA LEGISLACIÓN INDUSTRIAL EN ESPAÑA.....	21
FIGURA 3. RANGO DE EXPLOSIVIDAD DE UNA SUSTANCIA INFLAMABLE.....	28
FIGURA 4. PENTÁGONO DE LA EXPLOSIÓN.....	34
FIGURA 5. EJEMPLO DE CARGAS ESTÁTICAS EN UN TRABAJADOR.....	43
FIGURA 6. MARCADO DE APARATOS.....	47
FIGURA 7. MARCADO DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN.....	48
FIGURA 8. ILUSTRACIÓN DE MARCADO DE PROTECCIÓN.....	48
FIGURA 9. MARCADO DE COMPONENTES.....	49
FIGURA 10. MARCADO DE MATERIAL ASOCIADO.....	49
FIGURA 11. EJEMPLO DE MARCADO DE UN EQUIPO.....	49
FIGURA 12. CICLOS DE OPERACIONES DE LAS CÁMARAS DE COQUE.....	61
FIGURA 13. CÁMARAS DE COQUE.....	62
FIGURA 14. COQUE DRUMS.....	63
FIGURA 15. ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DEL COQUE. ("MANUAL DE OPERACIONES DE REPSOL YPF").....	65
FIGURA 16. IMAGEN DE DIFERENTES CINTAS TRANSPORTADORAS Y SILOS DEL PARQUE DE RECOGIDA DE COQUE.....	74
FIGURA 17. IMAGEN DE UNO DE LOS MONTONES DEL PARQUE DE RECOGIDA DE COQUE.....	75
FIGURA 18. IMAGEN DE DESCARGA DEL COQUE DESDE UNA DE LAS CINTAS TRANSPORTADORAS.....	75
FIGURA 19. DIFERENTES EQUIPOS DE LA UNIDAD DE COQUIZACIÓN.....	76
FIGURA 20. ZONA DE CÁMARAS DE COQUIZACIÓN.....	76
FIGURA 21. ESQUEMA GENERAL DEL PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN DE UNA SUSTANCIA, UNA MEZCLA O UN ARTÍCULO COMO EXPLOSIVO.....	79
FIGURA 23. BOLAS DE COQUE INTERMEDIO.....	82
FIGURA 24. COQUE VERDE.....	82
FIGURA 25. GRÁFICAS PARA EL HALLAR EL VALOR DE D_0	91
FIGURA 26. ILUSTRACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTEO POR PRESIÓN.....	105
FIGURA 27. VARIACIÓN DE LA EXPLOSIÓN CON Y SIN VENTEO.....	106
FIGURA 28. PANEL DE VENTEO.....	107
FIGURA 29. SEÑAL DE PRESENCIA DE ATMÓSFERA EXPLOSIVA.....	120
FIGURA 30. GRÁFICO COMPARATIVO DEL COSTE DE INGENIERÍA PARA AMBOS MÉTODOS.....	126

Índice de tablas

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS PARA ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS.....	38
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS PARA CAPAS DE POLO	38
TABLA 3. RENDIMIENTOS GLOBALES ACUMULADOS	68
TABLA 4. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA DISTRIBUCIÓN (CALIDAD 0-60)	68
TABLA 5. PROCESO DE CARGA Y EXPEDICIÓN	70
TABLA 6. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE UNA SUSTANCIA	78
TABLA 7. ESPECIFICACIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE COQUE.....	81
TABLA 8. VALORES DE D_H	92
TABLA 9. VALORES DEL COEFICIENTE K_D	92
TABLA 10. ESTIMACIÓN DE Q_D	93
TABLA 11. VALORES DEL COEFICIENTE K_U	94
TABLA 12. VALORES DEL COEFICIENTE K_{TA}	94
TABLA 13. VALORES DEL COEFICIENTE K_W	94
TABLA 14. SÍMBOLOS Y CATEGORÍAS PARA EL MARCADO DE ROPA Y CALZADO	103
TABLA 15. ALCANCE DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN	104
TABLA 16. COSTE DE INGENIERÍA: MÉTODO CUALITATIVO	122
TABLA 17. COSTE DE INGENIERÍA: MÉTODO CUANTITATIVO.....	123
TABLA 18. COSTES ASOCIADOS EN CASO DE ACCIDENTE	124
TABLA 19. EJEMPLO COMPARATIVO DE PRECIOS DE VARIOS COMPONENTES	125
TABLA 20. LISTA DE EQUIPOS Y FUENTES DE ESCAPE I	146
TABLA 21. LISTA DE EQUIPOS Y FUENTES DE ESCAPE II	147
TABLA 22. LISTA DE EQUIPOS Y FUENTES DE ESCAPE III	148
TABLA 23. LISTA DE EQUIPOS Y FUENTES DE ESCAPE IV	149
TABLA 24. LISTA DE EQUIPOS Y FUENTES DE ESCAPE V	150
TABLA 25. LISTA DE EQUIPOS Y FUENTES DE ESCAPE VI	152
TABLA 26. FUENTES DE IGNICIÓN DE ORIGEN MECÁNICO EN LAS CINTAS TRANSPORTADORAS.....	155
TABLA 27. FUENTES DE IGNICIÓN DE ORIGEN MECÁNICO EN LOS SILOS.....	156
TABLA 28. RESULTADOS: DISTANCIA ZONAS DE RIESGO I.....	160
TABLA 29. RESULTADOS: DISTANCIA ZONAS DE RIESGO II.....	161
TABLA 30. RESULTADOS: DISTANCIA ZONAS DE RIESGO III.....	162
TABLA 31. RESULTADOS: DISTANCIA ZONAS DE RIESGO IV	163

1.- Introducción

En la sociedad moderna, la preocupación por garantizar el desarrollo de la actividad laboral dentro de unas normas de seguridad y protección para el trabajador ha sido una constante en actividades que manejan productos inflamables. Dentro del concepto general de la protección de la seguridad y salud de los trabajadores, ocupa un lugar con entidad propia la protección de los mismos frente a los riesgos de explosiones, por los efectos graves que pueden tener.

A lo largo de la historia se han sucedido grandes catástrofes como consecuencia de accidentes en el sector industrial. Entre éstas se encuentran las producidas por explosiones en las industrias, como en el caso de Los Alfaques (Tarragona) en 1978; Cubatao (Brasil) en 1984; Bhopal (India) en 1984; Acha Ufa (Rusia) en 1989; Toulouse (Francia) en 2001; Puertollano (España) 2003; Texas City (EEUU) en 2005, o el accidente de Buncefield (Gran Bretaña) en 2005, que han generado miles de muertos en total, pérdidas millonarias y daños verdaderamente graves para el medio ambiente. En la Unión Europea, cada año se producen más de 2000 explosiones de polvo o gas como consecuencia de su almacenamiento, manipulación y elaboración con materiales combustibles.

El riesgo de explosión, ya sea debida a gases/vapores inflamables o a polvos combustibles, se da en los más diversos y variados procesos, afectando a múltiples sectores, como pueden ser el agroalimentario, fabricación de muebles y procesado de maderas, textil, químico, reciclado, energético, biomasa, petroquímico, etc.

En caso de explosión, los trabajadores se hallan en peligro por los efectos de las llamas, o presiones incontroladas en forma de radiación térmica, llamaradas, ondas de choque y proyección de cascotes, así como productos de reacción nocivos y por falta de oxígeno para respirar.

En este marco, las **Directivas ATEX de protección de los trabajadores** (ATmósfera EXplosiva) establecen las medidas necesarias para garantizar la seguridad frente a las explosiones. Como ATEX se denomina al conjunto de Directivas Europeas que regulan la protección ante las atmósferas potencialmente explosivas.

Sin duda uno de los temas más importantes en materia de seguridad y salud laboral es la prevención de riesgos en las empresas. Se trata de la incorporación de criterios de seguridad y salud en todo el ciclo de actividades de la empresa, con el propósito de prevenir daños en las personas y en los bienes.

El objetivo de este proyecto consiste en establecer las áreas potenciales de riesgo por formación de atmósferas explosivas pulverulentas de acuerdo con los requisitos expuestos en el Real Decreto 681/2003 sobre “la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas en los puestos de trabajo”. Este Real Decreto transpone la Directiva Europea 94/9/CE.

En el marco de esta normativa se establece la obligatoriedad para las empresas de elaborar un documento de protección contra explosiones.

En el campo de la seguridad frente a atmósferas explosivas, disponemos de mucha documentación, información y normativa para estimar el peligro de formación de atmósferas explosivas y su probabilidad de explosión para líquidos o gases inflamables, que intervienen en los procesos que se llevan a cabo en una refinería. No es así, sin embargo, para las sustancias sólidas o pulverulentas. Para estas sustancias, la bibliografía es más escasa y la normativa española se reduce a un método cualitativo, aunque existe un procedimiento matemático para el cálculo de la extensión de la zona protegida, que mejora los limitados requisitos normativos.

En el proyecto que nos ocupa nos centraremos en analizar las fuentes de escape de sustancias sólidas, otorgándoles una determinada probabilidad de aparición, así como en el análisis de la zona en la que puede originarse una atmósfera explosiva debida al escape de dicha sustancia y tomar las medidas de seguridad oportunas para garantizar la salud y seguridad de los trabajadores.

A la hora de calcular el riesgo y de definir las medidas de protección hay que tener en cuenta la influencia del factor humano; esto es, los protocolos de actuación a la hora de manipular ciertos equipos, o de realizar determinadas tareas que puedan conllevar un riesgo asociado.

2.- Objeto

Dentro del documento de protección contra explosiones, que el empresario tiene la obligación de elaborar, se debe incluir la clasificación de áreas de riesgo de explosión por zonas, delimitando el tamaño de las mismas. Uno de los propósitos de la clasificación de áreas de riesgo en un emplazamiento donde puedan aparecer atmósferas explosivas, es facilitar la correcta instalación de equipos eléctricos y/o mecánicos con modos de protección adecuados.

El objetivo de este proyecto es la obtención óptima de la clasificación de áreas en un emplazamiento concreto, debidas al polvo generado en la producción y manejo del coque de petróleo. Para ello se aplicará y evaluará la normativa vigente, recogida en la norma UNE 60079-10-2, y un método matemático basado en la Guía Técnica CEI 31-56, que permite calcular la extensión de la zona.

Se pretenden comparar las dos metodologías, una cualitativa y otra cuantitativa, para determinar las áreas de riesgo

Para ello los pasos a seguir son:

- 1.- Descripción de las diferentes actividades detallando los procesos
- 2.- Identificación de las diferentes sustancias que intervienen, clasificándolas en función de la probabilidad de éstas de crear una atmósfera explosiva.
- 3.- Determinación de las fuentes de escape.
- 4.- Clasificación de las fuentes de ignición.
- 5.- Clasificación de los equipos y fuentes de escape, teniendo en cuenta también la probabilidad que tienen de suponer un riesgo para la seguridad del trabajador.
- 6.- Teniendo en cuenta todos estos factores, se clasificarán las diferentes áreas por zonas de riesgo y se adoptarán medidas de protección y prevención contra explosiones.

3.- Marco normativo

Dentro del desarrollo de la legislación sobre Prevención de Riesgos Laborales, cabe señalar la normativa sobre protección de los trabajadores contra el riesgo de explosiones. Las directivas europeas ya traspuestas a la legislación española fijan los requisitos esenciales y las disposiciones mínimas en las que se describen los emplazamientos en los que pueden aparecer concentraciones y cantidades peligrosas de gas o vapor inflamables y cómo deben aplicarse medidas de protección para reducir el riesgo de explosión. Se explican los criterios esenciales para valorar el riesgo de explosión y se dan orientaciones para que los parámetros de diseño y explotación reduzcan dicho peligro. El conocimiento de la legislación industrial resulta imprescindible para todo ingeniero que intervenga en proyectos industriales.

Por una parte, deben conocerse los trámites, documentos a preparar y presentar, así como las inspecciones y autorizaciones que son preceptivas según la legislación mencionada.

Por otra parte, la legislación industrial condiciona de manera decisiva el emplazamiento, la distribución en planta, el diseño de proceso y equipo (para procesos y seguridad), las pruebas, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de las plantas objeto de nuestros proyectos. El objeto común a toda la legislación industrial está en la seguridad de personas, bienes y medio ambiente.

A partir del artículo 100 del Tratado de la CE (actualmente artículo 95) **enfocado a la seguridad de los equipos y productos**, se deriva una serie de directivas aparecidas en los últimos años, que han sido ya traspuestas a la legislación nacional y que proporcionan un completo escenario reglamentario en materia de seguridad frente a los riesgos de explosión en atmósferas explosivas.

Por un lado, se dispone de la Directiva ATEX 100 1994/9/CE, que se transpone en el **RD 400/1996** y que se dirige a los fabricantes, comerciantes e importadores de equipos. Las novedades son que por primera vez:

- se establecen requisitos de seguridad para material no eléctrico
- se incluye el polvo como origen de atmósferas explosivas
- se refiere a equipos que van a ser utilizados fuera de atmósferas explosivas, pero que son necesarios para equipos que trabajan en atmósferas explosivas.

Por otro lado, la Directiva 1999/92/CE, traspuesta en el **Real Decreto 681/2003** de 12 de Junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo, encomienda de manera específica, en su disposición final primera, al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, la elaboración y el mantenimiento actualizado de una Guía Técnica de carácter no vinculante, para la evaluación y prevención de los

riesgos relacionados con las atmósferas explosivas que puedan formarse en los lugares de trabajo. El Real Decreto 681/2003 regula la prevención y protección de los trabajadores por exposición al riesgo de explosión, que puede tener su origen en la formación de atmósferas explosivas con apartados similares a los de otras normativas también destinadas a la protección de los trabajadores: evaluación de los riesgos, medidas de prevención y protección contra los mismos, coordinación de actividades, formación e información de los trabajadores. Establece así una serie de obligaciones del empresario, con objeto de prevenir las explosiones y de proteger a los trabajadores contra éstas.

Se establecen además algunas obligaciones específicas: la clasificación en zonas de las áreas de riesgo, las características específicas que deben cumplir los equipos instalados o introducidos en las zonas clasificadas y la obligatoriedad de recoger todos los aspectos preventivos que se hayan desarrollado en la empresa en un documento de protección contra explosiones, sin que ello implique la duplicidad de la documentación ya elaborada en virtud de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.

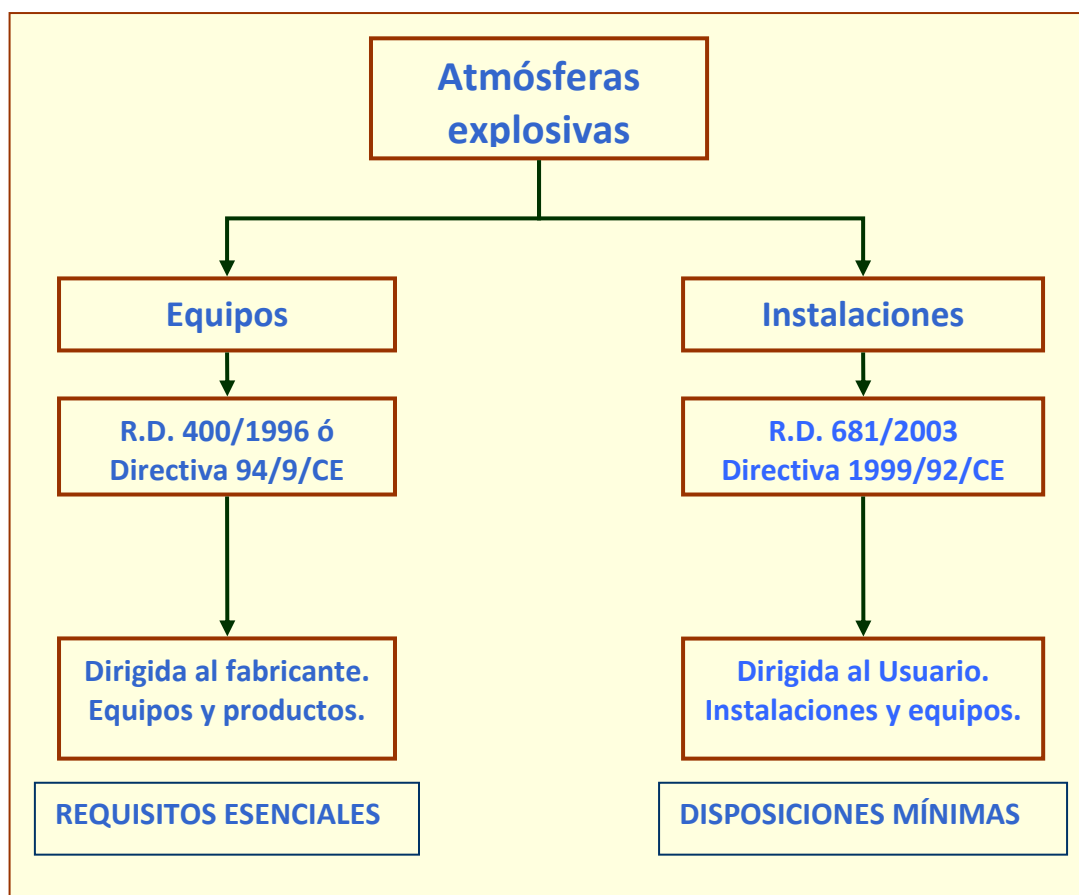


Figura 1. Estructura dual de la legislación ATEX

Las Directivas, así como los Reales Decretos, son de obligado cumplimiento, pero no reflejan los métodos de actuación, ni una metodología clara de clasificación, ni

procedimientos de operación. Por ello existen las normativas UNE, que recogen una serie de recomendaciones para el correcto desarrollo de las Directivas y Reales Decretos en el sector industrial. Haremos especial hincapié en la norma española UNE-EN 60079-10-2 relativa a la clasificación de emplazamientos en los que podemos encontrar atmósferas explosivas por polvo combustible. Los polvos, tal y como se definen en esta norma, son peligrosos porque cuando están dispersos en el aire de cualquier forma, generan atmósferas potencialmente explosivas. Además, las capas de polvo combustible pueden inflamarse como fuentes de ignición para una atmósfera explosiva. En esta normativa, se facilitan las recomendaciones para la identificación y clasificación de los emplazamientos donde puedan aparecer riesgos de inflamación debidos al polvo. Establece los criterios esenciales para la evaluación de riesgo de inflamación, y da recomendaciones en el diseño de parámetros de control para reducir el riesgo. Se dan criterios generales y particulares, con ejemplos, sobre el procedimiento utilizado para identificar y clasificar los emplazamientos. Cabe mencionar que esta clasificación de emplazamientos peligrosos ante sustancias pulverulentas se lleva a cabo de un modo cualitativo únicamente, contrariamente a como se realiza para sustancias gaseosas y líquidas.

Por ello evaluaremos también otro método alternativo, basado en la guía técnica italiana CEI 31-56, traspuesta como Guía recomendada por la Dirección General del Trabajo y Prevención de R.L Junta de Castilla y La Mancha, basada a su vez en la norma EN 50281-3 para calcular de una forma matemática la extensión de las zonas de peligro debidas a la presencia de una atmósfera pulverulenta. Para la determinación de estas zonas, utilizaremos parámetros que en la norma UNE no se consideraban, como la presión interna del sistema de contención del polvo, altura de la fuente de emisión, humedad del polvo, tipo de ambiente, velocidad del aire etc.

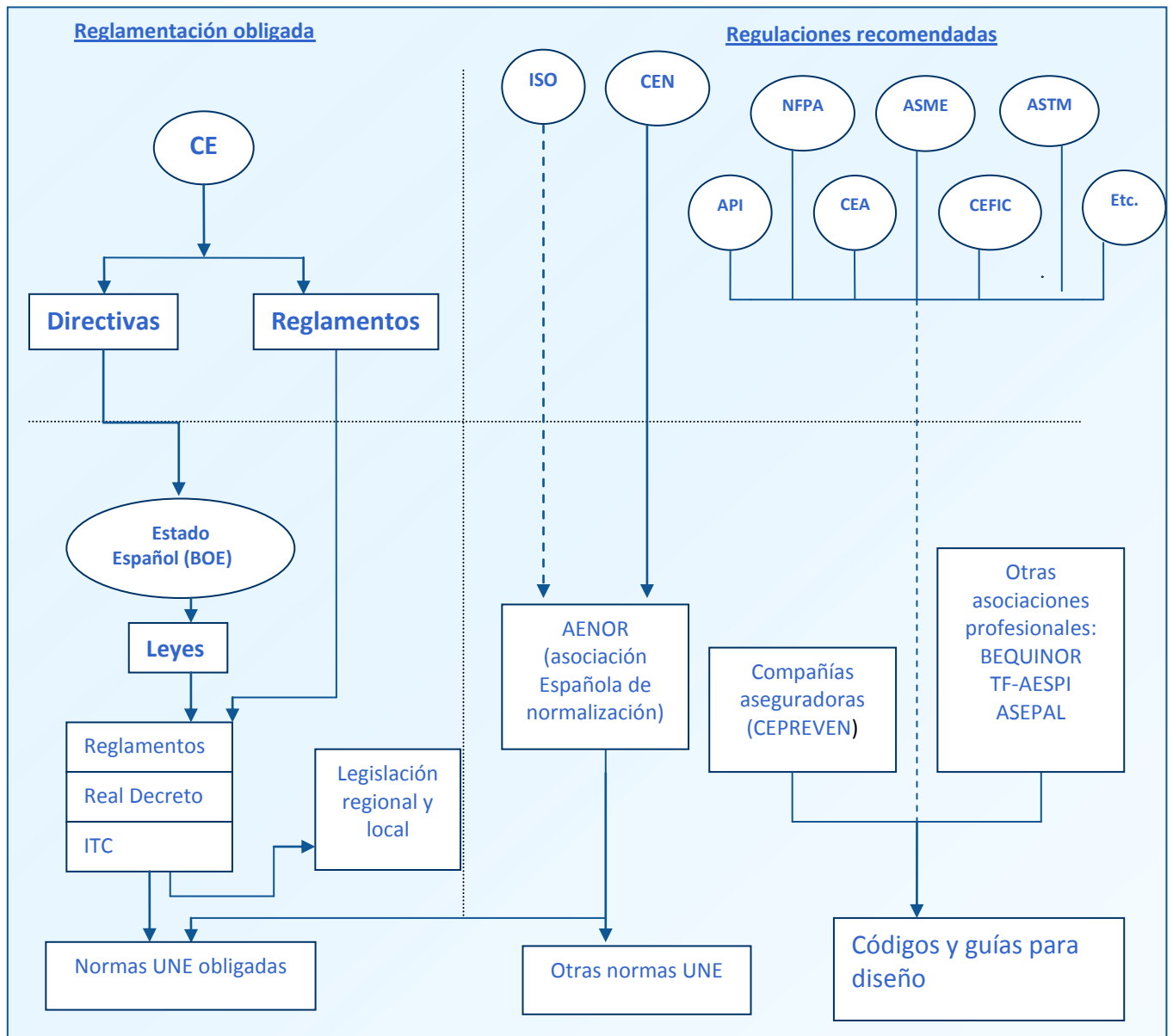


Figura 2. Panorama de la legislación industrial en España.

Normativa complementaria.

- Ley 31/1995, Ley de Prevención de riesgos laborales y sus posteriores modificaciones y desarrollos (Real Decreto 171/2004, de 30 de Enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995).
- Real Decreto 39/1997, de 17 de Enero. Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 604/2006, de 19 de Mayo, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero.
- Real Decreto 363/1995, de 10 de Marzo, por el que se regula la notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de Mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto. Reglamento electrotécnico de baja tensión.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de Junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 1407/1992, de 20 de Noviembre, por el que se regulan las condiciones de comercialización y libre circulación intracomunitaria de los Equipos de Protección Individual.
- Reales Decretos 379/2001, de 6 de Abril, y 2016/2004, de 11 de Octubre, que aprueban el Reglamento de Almacenamiento de productos químicos y sus ITC MIE-AP 1 a MIE-AP 8, entre las que se encuentran almacenamientos para productos con alto riesgo de explosión, por ejemplo, la MIE-APQ 1, de Almacenamientos de líquidos inflamables y combustibles.
- Real Decreto 1254/1999, de 16 de Julio, modificado en último lugar por el Real Decreto 948/2005, de 29 de Julio, que aprueba Medidas de control de riesgos inherentes a los accidentes graves.
- Real Decreto 2085/1994, de 20 de Octubre, y sus modificaciones posteriores, que aprueba el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas, desarrollado por las ITC MIE-IP 01 a MIE-IP 06.

4.- Memoria del proyecto

4.1.- Peligros de explosión y de incendio

En cualquier instalación en la que se manipulen sustancias inflamables, debe considerarse el riesgo de explosión. Este tipo de sustancias aparece en materias primas, productos intermedios y finales, con lo que el riesgo de formación de atmósfera explosiva puede existir a lo largo de todo el proceso. En nuestro proyecto, evaluaremos primeramente el peligro de explosión e incendio de toda la instalación objeto del estudio

Entendemos por incendio una reacción de oxidación, generalmente con aire como comburente, de materias combustibles. Los peligros que entraña un incendio son, por un lado, el calor (generalmente radiante) que produce daños de por sí y porque puede propagar la cadena accidental, humos sofocantes o tóxicos y una onda explosiva de sobrepresión cuando se dan ciertas condiciones de aceleración de la velocidad de reacción o de contención. En las instalaciones químicas y petroleras que nos ocupan, los incendios pueden ocurrir de varias maneras, que dependen de la naturaleza y de la disposición del combustible:

- Incendio de líquidos en disposición abierta: se trata de un caso en el que el incendio se produce en una condición abierta (no presurizada).
- Incendio de líquidos con rebosamientos violentos: se trata de complicaciones del caso anterior que, generalmente, se presentan en los incendios de tanques para almacenamiento, donde la altura del líquido combustible es considerable.
- Incendio de gases o vapores en nube abierta: es el caso de inflamación inmediata de una nube de gases o vapores, que se ha situado de forma rápida en espacio abierto.
- Incendio de gases o vapores de fuga local presurizada: se da cuando hay una fuga localizada de gases o vapores inflamables a presión.

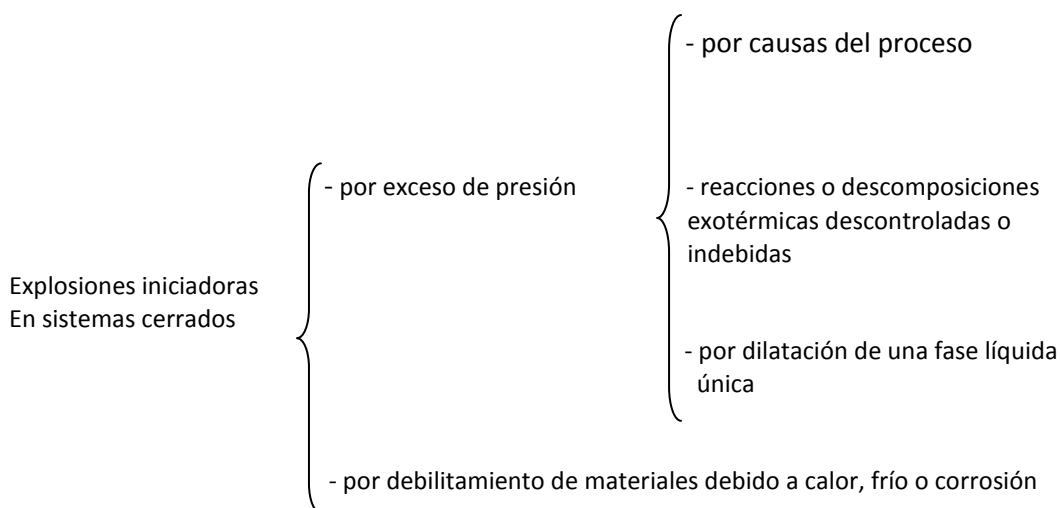
Por otro lado, pueden darse peligros debidos a explosiones. Las explosiones son fenómenos caracterizados por el desarrollo de una presión (dentro de sistemas cerrados), o de una onda de sobrepresión (en espacios abiertos), que dan lugar a daños mecánicos.

Según su origen y naturaleza, las explosiones pueden estar en el inicio de una fuga (con consecuencias tóxicas o incendiarias), o deberse a la evolución de una combustión autoacelerada hacia la detonación (propagación supersónica), como se verá más adelante. Éste parece ser el criterio más pedagógico para iniciar la clasificación de los tipos de explosiones que deberá incluir, además, la consideración del origen de los materiales y del grado de contención que los caracterizan.

En el proyecto que nos ocupa, nos limitaremos a mencionar las explosiones producidas por fugas de sustancias inflamables o combustibles, que afectan a las instalaciones industriales en aparatos, recipientes y tuberías de gases y vapores, y detallaremos las explosiones de nieblas y polvos que afectan también a las instalaciones industriales.

4.1.1.-Explosiones iniciadoras de fugas.

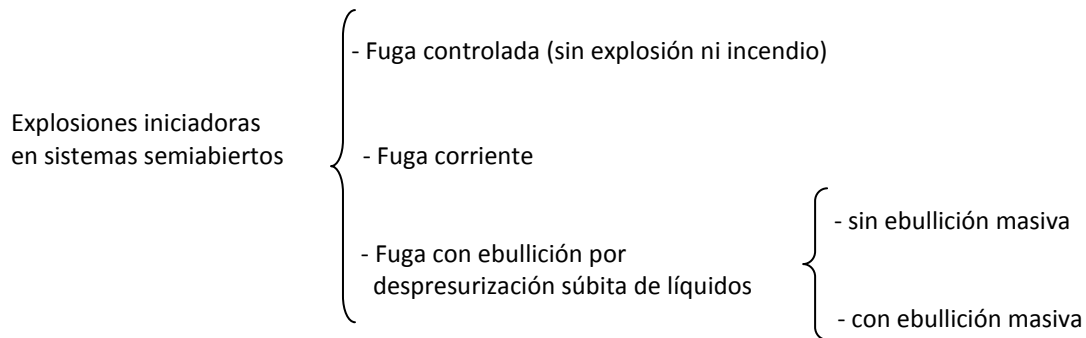
Como se ha dicho antes, son las que dan lugar a una fuga, iniciando así una cadena accidental que puede continuar con emisión tóxica, incendio y otras explosiones. Se pueden clasificar según se den en sistemas cerrados o en sistemas semiabiertos.



El peligro de explosión por exceso de presión significa que, por alguna de las razones indicadas arriba, se sobrepasa la presión correspondiente a la resistencia mecánica de los sistemas contenedores (recipientes, tuberías, etc.), determinándose así el fallo de contención o confinamiento que origina la fuga del fluido contenido. Esta causa determina la criticidad del diseño de proceso y equipo para su prevención mediante:

- Diseño de recipientes y tuberías: materiales, espesores, presiones y temperaturas de diseño.
- Dispositivos para el alivio controlado de presiones excesivas.
- Instrumentación protectora que controla las condiciones del proceso de las reacciones, incluyendo las paradas de emergencia y el apagado de reacciones, etc.
- Protección contra el calor: calorifugado, refrigeración etc.
- Protección contra el frío: acompañamiento térmico, calefacción etc.

- Protección contra la corrosión: materiales y sobreespesores para corrosión o revestimientos adecuados, protecciones eléctricas, inspecciones periódicas.



La apertura parcial de sistemas cerrados, pasándolos a la condición de semiabiertos, ocurre cuando se produce un orificio por impacto de un proyectil, por apertura de un dispositivo de alivio (válvula de seguridad o disco de ruptura, etc.), o una grieta (por fallo del material, como efecto de un impacto, choque o calor de incendio exterior). En algunos casos, se produce entonces una fuga corriente de fluido a presión, o una fuga controlada. Hay otro caso que debe ser objeto de consideración especial, dada la índole dramática de las consecuencias que puedan derivarse de la fuga. Se trata de aquellos sistemas que contienen líquido/vapor a temperatura superior a la que corresponde al equilibrio entre dichas fases a la presión atmosférica. Se trata de un caso frecuente en la industria que nos ocupa: recipientes para almacenamiento y proceso de gases licuados tipo (GLP), líquidos calientes en reactores y hornos, agua en determinadas secciones de las calderas de vapor, etc. En tales situaciones, la apertura parcial del sistema, por cualquiera de los medios indicados, provoca el desarrollo de la secuencia siguiente:

- situación inicial
- despresurización súbita
- ebullición del líquido
- rotura del sistema contenedor
- dispersión de niebla

4.1.2.-Explosiones como consecuencia de fugas

La ignición diferida de gases y vapores no confinados se produce cuando:

- la nube de vapor o gas fugado es inflamable
- la ignición de la nube se produce un tiempo después de la fuga

Como se ha dicho anteriormente, las explosiones de polvo suspendido acontecen según mecanismos (por ejemplo, ignición-deflagración-detonación) semejantes a los de los gases y vapores. Sus efectos son también parecidos considerando que:

- La carga energética por unidad de volumen es mayor para polvos y nieblas que para gases y vapores.
- Los polvos tienen menos capacidad de difusión en el espacio que gases nieblas y vapores.

4.1.3.-Peligros de explosión por polvos combustibles

El peligro de explosión por polvos está actualmente infravalorado respecto a los peligros debidos a líquidos y gases, aunque los daños derivados sean iguales o incluso peores.

Las explosiones debidas a polvos combustibles se pueden dar en cualquier tipo de industria. Por ejemplo, en la industria alimentaria, las explosiones se deben a polvo de trigo, harina, azúcar, etc. En la industria química, las explosiones se deben a polvos de plástico, pinturas, insecticidas, etc. En la maderera y metalúrgica, también existe riesgo por polvos. En la industria del refino de petróleo, las explosiones por polvo se pueden deber fundamentalmente a polvo de azufre o carbón.

La aparición de una atmósfera explosiva debida a sustancias pulverulentas puede darse debido a la formación de una nube de polvo a partir de una fuente de escape, incluyendo una capa o acumulación que pueda formar una atmósfera explosiva de polvo.

También hay que tener en cuenta las explosiones confinadas de polvo suspendido. Debe incluirse aquí la consideración de las explosiones de polvo que acontecen en el interior del equipo para almacenamiento (silos, etc.) y manipulación (tolvas, conductos, transportadores de sólidos, etc.) de materias sólidas. Aunque no suelen dar lugar a fugas como los gases y vapores, las explosiones de polvo suspendido en aire acontecen según mecanismos y tienen consecuencias semejantes a las explosiones de aquellos.

Los polvos pueden permanecer en suspensión, lo que crea un área potencialmente peligrosa. También puede darse por la formación de capas de polvo que no son susceptibles de formar una nube de polvo, pero que pueden inflamarse por autocalentamiento, o por estar expuestas a superficies calientes, o un flujo de calor y causar un riesgo de incendio o sobrecalentamiento de los aparatos. La capa inflamada puede igualmente actuar como fuente de ignición de una atmósfera explosiva.

En materia de seguridad industrial frente a atmósferas explosivas, entendemos por emplazamiento peligroso aquel emplazamiento en el que se generen polvos

combustibles, en el que el polvo, bajo la forma de nube, está o puede estar presente en cantidades tales que es necesario tomar precauciones determinadas para la construcción, instalación y utilización de los aparatos y equipos, a fin de evitar fuentes de ignición que provoquen la inflamación de una mezcla explosiva de polvo y aire.

Por un lado, los polvos sólo forman atmósferas explosivas dentro de un intervalo de concentraciones. Si bien una nube de concentración muy elevada puede no ser explosiva, el peligro existe de todas formas, ya que la concentración puede disminuir y entrar en el intervalo de inflamación. Dependiendo de las circunstancias, cualquier fuente de escape no tiene por qué producir necesariamente una atmósfera explosiva de polvo.

Los polvos que no son separados por mecanismos de extracción o ventilación, se depositan en capas o acumulaciones a una velocidad que depende, entre otras variables, del tamaño de las partículas. Se debe tener en cuenta que una fuente de escape pequeña o diluida, pero continua en el tiempo, puede ser capaz de producir una capa de polvo potencialmente peligrosa.

Por otro lado, puede haber peligro de explosividad debido a capas de polvo, por ejemplo en el interior de un contenedor, donde el polvo es manejado o procesado y las capas de polvo de espesor no controlado no pueden evitarse porque forman parte integrante del proceso. El espesor de las capas de polvo en el exterior de un contenedor debería ser controlado por tareas de mantenimiento y el nivel de limpieza debería estar en consonancia con la clasificación que se haga del emplazamiento, como veremos mas adelante. Es esencial establecer un acuerdo con la dirección de la instalación sobre la naturaleza de la limpieza del local. En la mayoría de los casos, una capa de polvo de tan solo 1 mm. de espesor contiene cantidad suficiente para crear una mezcla polvo/aire explosiva. Debe recordarse que, con el tiempo, es posible la formación de capas de polvo peligrosas a partir de una nube de polvo, cuya concentración esté muy por debajo de la concentración mínima explosiva, o límite inferior de explosividad LIE.

A) Condiciones de explosividad por formación de nubes en atmósferas pulverulentas

Para que un área sea clasificada como peligrosa por formación de nubes pulverulentas, ésta debe cumplir varias condiciones:

- En primer lugar, la presencia de un polvo combustible. En las instalaciones que nos ocupan, encontramos polvo de coque, del cual detallaremos las especificaciones más adelante.

- En segundo lugar, se deben generar nubes de polvo en dispersión de tal forma que se genere una atmósfera explosiva. Para ver las zonas en las que esto sucede, analizamos las diferentes fuentes de escape, otorgándoles un grado y una probabilidad de aparición.

- En tercer lugar, el polvo combustible debe tener una granulometría que permita la propagación de la llama. Esto es, que su tamaño de partícula sea tal que

permita la inflamación y la posterior propagación que da lugar a la explosión. Si las partículas son grandes, no se formará una atmósfera explosiva, aunque el polvo esté en suspensión.

- En cuarto lugar, debemos analizar si la concentración de polvo en el aire (en la nube) está dentro de los límites de explosividad de esa sustancia. Para ello se realizan análisis químicos que determinan el LIE (Límite inferior de explosividad) y el LSE (Límite superior de explosividad). El rango de explosividad de las sustancias inflamables se obtiene a partir de un ensayo normalizado en condiciones definidas de presión y temperatura, por tanto será propio para cada mezcla de sustancia inflamable con el aire. Además, el valor obtenido varía sensiblemente con la temperatura y la presión y según las condiciones de ensayo, fuentes de inflamación, dimensiones del recipiente, etc.

Estos datos se suelen encontrar en las fichas de datos de seguridad bajo la denominación de LIE y LSE. Vienen dados en forma de porcentaje en volumen y/o en masa por unidad de volumen.

Para el caso de nube de polvo, el rango de concentración explosiva dependerá además de la granulometría. Normalmente, en el lugar de trabajo no se presentará una mezcla homogénea de polvo-aire formando atmósfera explosiva, por tanto los valores del rango de concentraciones límite explosivas para polvo deberían usarse solamente como referencia.



Figura 3. Rango de explosividad de una sustancia inflamable.

- Por último, debemos analizar la existencia de una fuente de ignición en los lugares en los que se cree una atmósfera explosiva y que veremos más adelante.

B) Peligros de explosión por capas de polvo combustible

Se deben considerar por separado todos los riesgos presentados por las capas de polvo de los presentados por las nubes de polvo. Se presentan tres riesgos para las capas de polvo:

1.- Una explosión primaria en un edificio puede levantar capas de polvo y formar nubes, y provocar explosiones secundarias más perjudiciales que la primaria. Se deberían vigilar siempre las capas de polvo para reducir este riesgo.

2.- Las capas de polvo pueden ser inflamadas por el flujo de calor proveniente del equipo sobre el que se ha depositado la capa. Puede tratarse de un proceso lento.

3.- Una capa de polvo puede convertirse en una nube, inflamarse y provocar una explosión.

Estos riesgos dependen de las propiedades del polvo y del espesor de las capas, que están influenciadas por la naturaleza de la limpieza del local. La probabilidad de que una capa cause un incendio puede controlarse mediante la correcta selección del equipo y de una limpieza efectiva.

La reacción de un producto al explotar es siempre una reacción de oxidación. Para que se inicien estas reacciones, se necesita una energía mínima de activación, para que se produzca la inflamación y para que la combustión se propague a la mezcla no quemada.

4.2.- Caracterización de las sustancias pulverulentas

Es frecuente que los productos sólidos generen polvo durante su procesamiento en operaciones de transporte, almacenamiento y, naturalmente, en la molienda y granulación. Un elevado número de sustancias sólidas procedentes de diversos sectores industriales son combustibles, en el sentido de poder reaccionar con el oxígeno de forma exotérmica, lo que se traduce en que el polvo puede resultar inflamado y dar lugar a una reacción muy rápida, que se manifiesta mediante una explosión. Por consiguiente, estas sustancias son inflamables y pueden generar atmósferas explosivas por polvo.

Son numerosos los sectores industriales y operaciones de proceso que implican el procesamiento de sólidos inflamables. Este proyecto está enfocado para las Plantas de coquización en refinerías, por lo que la sustancia pulverulenta objeto de estudio será el coque. No obstante, se van a caracterizar las sustancias pulverulentas a nivel general.

Podemos agrupar las distintas características de los sólidos pulverulentos en varios grupos, según la naturaleza de los parámetros que se determinen:

- Características generales.
- Sensibilidad a la ignición.
- Severidad de la explosión.
- Susceptibilidad térmica.
- Otras características.

Las diferentes propiedades relacionadas con el comportamiento de los sólidos pulverulentos, dependen por completo de diversos parámetros que pueden condicionar la reactividad superficial de la sustancia, como puede ser una disminución de su reactividad por oxidación, ensuciamiento o contaminación superficial. Estas características son difíciles de determinar y lo que debe hacerse, cuando se van a caracterizar los parámetros de una sustancia, es tomar una muestra lo más representativa y actual de dicha sustancia.

4.2.1.- Características generales

A) Tamaño de la partícula

El tamaño medio de las partículas es aquel tamaño nominal que se asigna a un polvo para su caracterización, mediante un ensayo específico (por ejemplo, utilizando un tamiz con la dimensión de las mallas, que separa el 50 % en masa del material tamizado).

El tamaño de las partículas de polvo determina la explosividad del polvo y la facilidad de formar una nube explosiva, así como su persistencia en la atmósfera antes de que todo el polvo sea depositado. Es difícil indicar el tamaño máximo de las partículas más allá del cual ya no se produce la explosión. Se puede estimar, de manera aproximada, que partículas con tamaños mayores de 1 mm. ya no producen explosiones. Sin embargo, hay que tener presente que uno de los principios fundamentales en la prevención contra las explosiones de polvo es que las sustancias pulverulentas, durante su procesado y manipulación, pueden dividirse formando fracciones más finas.

La muestra de polvo seleccionada para la evaluación debe ser representativa del ambiente en las condiciones más desfavorables. Generalmente el tamaño (dimensión) no se puede considerar igual para todas las partículas de un determinado polvo y, por eso, normalmente se representa mediante distribuciones estadísticas (granulometría). Por ello, es difícil determinar la influencia exacta del tamaño de las partículas sobre el comportamiento de la explosión de polvo, siendo siempre posible encontrar en el material, aunque esté presente en un tamaño grueso, una fracción con granulometría adecuada para formar atmósferas explosivas.

En función del tamaño medio de las partículas, aparece un nuevo factor, que hasta ahora no se ha tomado en cuenta para las clasificaciones de zonas en las normativas existentes. Esta característica es la velocidad de sedimentación o de caída de la partícula. Dependiendo de la propia velocidad de sedimentación, un polvo se puede depositar rápidamente, o bien permanecer suspendido en aire por un largo periodo de tiempo. Asociado a la velocidad de sedimentación, aparece lo que se denomina tiempo de sedimentación de la partícula, que es el tiempo que tarda la partícula en depositarse. Ambos factores dependen, siempre que las condiciones ambientales no varíen, de la densidad absoluta del polvo, del coeficiente de viscosidad del aire, de la gravedad y de la altura de caída del polvo.

B) Contenido en humedad y otras sustancias inertizantes

El contenido de humedad de un polvo, que se expresa en términos de cantidad de agua por unidad de masa de polvo, influye en las características de explosividad del polvo. La humidificación del polvo con agua en el emplazamiento, genera aglomerados más difíciles de dispersar, reduciéndose con ello la posibilidad de que pueda dispersarse el polvo en el aire y de formar una atmósfera explosiva y aumentando la temperatura de ignición de la nube.

La humidificación no siempre es practicable, por exigencias de calidad del producto, o por incompatibilidad. De hecho, existen algunos casos en los cuales el agua hidroliza el polvo, liberando calor y facilitando la inflamación.

Los porcentajes de humedad en polvos de hasta el 12 % no se consideran influyentes en su comportamiento, mientras que la mayoría de los polvos son inertes si el porcentaje de humedad es superior al 40 %. Por tanto, el riesgo de explosión crece con el aumento del contenido de humedad.

4.2.2.- Sensibilidad a la ignición

A) Temperatura Mínima de Inflamación (TMI)

Es la menor temperatura a la que se inicia el proceso de inflamación de una muestra de polvo. Se puede realizar el ensayo con la muestra dispersa en forma de nube (TMIn), o depositada en forma de capa (TMlc).

La Temperatura Mínima de Inflamación en Nube es la temperatura mínima de la pared interna de un horno caliente en el cual se verifica la ignición espontánea de la nube de polvo presente en el aire contenido en dicho horno.

La Temperatura Mínima de Inflamación en Capa de polvo es la temperatura mínima de una superficie caliente en la cual se verifica la ignición espontánea de una acumulación de polvo depositado sobre ella.

Ambas temperaturas se expresan en °C y condicionan las temperaturas máximas superficiales de los equipos.

B) Límite Inferior de Explosividad (LIE)

Es el límite inferior del intervalo de concentraciones de polvo en suspensión para el cual la mezcla aire-polvo es potencialmente explosiva.

El LIE se expresa en términos de masa de polvo por unidad de volumen de aire, generalmente en g/m^3 . También se denomina Concentración Mínima Explosiva (CME).

Existe también un Límite Superior de Explosividad (LSE), por encima del cual la llama no se puede propagar por falta de oxígeno en el entorno más inmediato de las partículas. El valor de la concentración LSE no se suele utilizar, ya que es muy raro que en las instalaciones industriales se puedan mantener nubes de polvo en concentraciones por encima de dicho valor.

El valor del Límite Inferior de Explosividad del aire para la mayoría de polvos combustibles está comprendido entre 20 y 200 g/m^3 . El valor del Límite Superior de Explosividad frecuentemente está comprendido entre 2000 y 6000 g/m^3 .

Para las mezclas híbridas de gas y polvo la determinación experimental del LIE es particularmente compleja. Se suele recurrir a utilizar un valor del LIE más bajo del valor individual de cada sustancia que constituye la mezcla.

En la práctica, los límites de explosividad para polvos no se pueden utilizar del mismo modo que para los gases y vapores, ya que la concentración de polvo puede ser modificada temporal y localmente por las condiciones ambientales.

C) Energía Mínima de Inflamación (EMI)

Todos los polvos combustibles, igual que los gases y vapores inflamables, requieren una energía mínima para iniciar y sostener el proceso de combustión de una mezcla comprendida entre los límites de explosividad. Dicha energía se expresa en mJ y depende de la naturaleza química del polvo, de su granulometría (la energía mínima de inflamación es tanto menor cuanto más fino es el polvo), de la uniformidad de la nube, de la turbulencia, y puede provenir de diferentes tipos de fuentes (chispa mecánica, arco eléctrico, hilo caliente, electricidad estática, etc.).

La energía mínima de ignición para polvos es muy variable. Así, mientras que para muchos polvos los valores son superiores a 1 J, para otros es del orden de unas decenas de mJ, llegando incluso a descender por debajo de 1 mJ (orden de magnitud de algunos gases inflamables, como el metano, que es de 0,29 mJ). Por ejemplo, el azufre dispersado finamente en aire puede llegar a tener una energía mínima de ignición de 0,3 mJ. A título orientativo, cabe citar que la energía electrostática acumulada por una persona puede llegar hasta los 45 mJ.

La Energía Mínima de Inflamación disminuye con la temperatura. Aunque no existe una relación directa, hay polvos que pueden disminuir su EMI a la mitad con solo aumentar la temperatura de 25 °C a 60 °C. Este efecto de la temperatura sobre la energía mínima de ignición resulta de especial importancia para evaluar los riesgos de explosión en recintos donde se alcanzan temperaturas elevadas.

Cuando la energía de inflamación es mayor de 10 J y no hay presencia de gases, vapores o nieblas inflamables, generalmente no se necesitan medidas de protección contra la acumulación de cargas electrostáticas.

En muchos casos, no son necesarias energías de activación muy elevadas y, una vez desencadenada la reacción, el calor generado suele ser suficiente para que se automantenga la reacción.



Figura 4. Pentágono de la explosión

La evaluación de los riesgos debe permitirnos conocer si puede darse la concurrencia de los factores necesarios para que se produzca una explosión y sobre cuál de ellos es más fácil actuar para que finalmente no ocurra.

4.3.- Determinación de fuentes de escape

4.3.1-Fuentes de escape

Para poder clasificar y caracterizar las zonas peligrosas, es necesario detallar todas las fuentes de escape de los equipos que intervienen en el proceso. Definiremos “fuente de escape” como un punto o localización, desde los que el polvo combustible puede escaparse a la atmósfera.

Las atmósferas explosivas de polvo se forman a partir de las fuentes de escape de polvo. Dependiendo de las circunstancias, no todas las fuentes de escape producirán necesariamente una atmósfera explosiva de polvo, pero, por otra parte, una fuente de escape pequeña o diluida continua en el tiempo puede producir una capa de polvo potencialmente peligrosa. Es necesario identificar las condiciones en las que los equipos del proceso, las etapas de procesos u otras acciones que pueden tener lugar en las instalaciones industriales, puedan formar mezclas explosivas de polvo, o crear capas de polvo. Es necesario considerar separadamente el interior y el exterior de un contenedor de polvo.

Grados de escape

En un contenedor de polvo, el polvo no escapa a la atmósfera, pero como parte del proceso pueden formarse nubes continuas de polvo en el interior del mismo. Estas nubes pueden estar presentes continuamente en largos o en cortos periodos. La frecuencia de su presencia depende del ciclo de proceso. El equipo debe estudiarse en funcionamiento normal, en funcionamiento anormal y en las condiciones de arranque y parada, de forma que pueda identificarse su incidencia en la presencia de la nube y capa y los resultados de este estudio se deben incluir en el dossier de verificación. Cuando se formen capas gruesas, éstas deberían anotarse.

En el exterior del contenedor de polvo, pueden influir muchos factores en la clasificación de los emplazamientos. Cuando en el contenedor de polvo existen presiones más altas que la presión atmosférica (por ejemplo, transportadores neumáticos de presión positiva), el polvo puede ser expulsado con facilidad del equipo. En el caso de presión negativa en el interior del contenedor de polvo, la posibilidad de la formación de emplazamientos pulverulentos en el exterior del equipo es muy baja. El tamaño de las partículas de polvo, el contenido de humedad y, cuando sea de aplicación, la velocidad de transporte, el caudal de extracción del polvo y la altura de caída, pueden influir en la potencial tasa de escape. Una vez conocido el potencial proceso de escape, cada fuente de escape debe ser identificada, determinando su grado o grados de escape.

Los grados de escape son los siguientes:

- **Fuente de escape de grado continuo:** Escape que se espera que pueda ocurrir frecuentemente durante el funcionamiento normal.

- **Fuente de escape de grado primario:** Escape que se espera que pueda ocurrir periódicamente u ocasionalmente durante el funcionamiento normal.

- **Fuente de escape de grado secundario:** Escape que no se espera que ocurra en funcionamiento normal y, si ocurre, es probable que lo haga raramente o por periodos cortos.

Dependiendo del grado de las fuentes de escape, éstas darán lugar a 3 tipos de zonas diferentes, clasificadas en función de si la sustancia es sólida o gaseosa. Estos tres tipos de zonas se definen a continuación:

Zona 10/20: emplazamiento en el que una atmósfera explosiva de gas o polvo combustible en forma de nube en el aire, está presente permanentemente, por largos periodos o frecuentemente.

Zona 11/21: emplazamiento en el que una atmósfera explosiva en forma de nube en el aire de gas o de polvo combustible, es probable que se presente ocasionalmente en funcionamiento normal.

Zona 12/22: emplazamiento en el que una atmósfera explosiva en forma de nube en el aire de gas o de polvo combustible, no es probable que se presente en funcionamiento normal y, si se produce, solamente persistirá durante un corto periodo.

En la evaluación de las fuentes de escape, no se requiere tener en cuenta los fallos importantes o catastróficos. Los siguientes elementos no deberían considerarse como fuentes de escape, tanto durante el funcionamiento normal como en el anormal:

- recipientes a presión, la estructura principal de la envolvente incluyendo sus toberas cerradas y sus bocas de hombre;
- los tubos, los sistemas de canalizaciones y los conductos sin uniones;
- los sellos de las válvulas y las bridas de unión, siempre que su diseño y construcción se hayan realizado adecuadamente para prevenir la fuga de polvo.

Como ejemplos de fuentes de escape y zonas de escape podemos encontrar:

Zona 20

- interior de los contenedores de polvo;
- tolvas, silos, ciclones y filtros;
- sistemas de transporte de polvo, excepto algunas partes de los transportadores y de cadenas;
- mezcladores, molinos, secadores, equipos de ensacado.

Zona 21

- emplazamientos exteriores a los contenedores de polvo y en la inmediación de las puertas de acceso sometidos a frecuentes retiradas o aperturas por necesidad de la operación, cuando en el interior está presente una atmósfera explosiva de polvo;
- emplazamientos exteriores a los contenedores de polvo en las proximidades de los puntos de llenado y de vaciado, alimentación de cintas, puntos de toma de muestras, de estaciones de descarga de camiones, de puntos de vertido de las cintas transportadoras;
- emplazamientos en el interior de los contenedores de polvo en donde es factible que se formen nubes explosivas de polvo, como por ejemplo los silos (si son llenados y vaciados sólo ocasionalmente) y sobre el lado sucio de los filtros, si transcurren largos periodos entre las autolimpiezas.

Zona 22

- salidas de ventilaciones de los filtros mangas, porque en el caso de fallo puede haber emisión de atmósferas explosivas de polvo;
- equipos neumáticos, o conexiones flexibles que pueden encontrarse dañadas;
- almacenamiento de bolsas que contengan productos pulverulentos. Pueden producirse rupturas de las bolsas durante su manipulación, causando fugas de polvo.

En nuestro proyecto, hemos analizado todos los equipos de la unidad de coquización retardada de la refinería de Puertollano y hemos creado un archivo de clasificación del grado de escape y el tipo de zona peligrosa para cada equipo, tanto para atmósferas explosivas gaseosas como pulverulentas.

4.3.2.- Influencia de las condiciones de escape

Para que se puedan adoptar medidas de seguridad correctas, hay que tener en cuenta la influencia de las condiciones de escape.

Cuando la capa no se dispersa, o sea, en el recinto no hay presencia de perturbaciones o turbulencias, lo que se debe evaluar atentamente es la extensión de la capa que puede corresponder a la extensión en planta de la zona peligrosa originada por el escape. Cuando la capa se dispersa, la extensión de la capa depende no sólo de la extensión de la zona peligrosa originada por el escape desde el sistema de contención, sino también de las condiciones ambientales:

- En los recintos abiertos pueden considerarse solamente las capas en el entorno de las fuentes de escape y su extensión se evalúa en cada caso teniendo en cuenta también la dirección principal del aire. En general, en estos recintos los escapes pequeños continuos se pueden despreciar.
- En los recintos cerrados, deben considerarse las capas de polvo en el entorno de la fuente de escape y también las capas que se pueden formar debido a dispersión o turbulencia. Su extensión, excepto en casos particulares, se determinará en cada caso teniendo en cuenta las cantidades de polvo y el volumen del recinto cerrado, que corresponderá generalmente a todo el recinto. En estos recintos, los pequeños escapes continuos (escapes estructurales) no se pueden despreciar sin una evaluación particular de cada caso. Si la concentración en nube es mayor del 50% del LIE, todo el recinto es zona peligrosa. Si la concentración en nube es igual o menor del 50% del LIE, la zona puede no extenderse a todo el recinto, sino sólo al entorno de las fuentes de escape.

Para caracterizar la extensión de las zonas de peligro debido a atmósferas explosivas pulverulentas se debe tener en cuenta la fuente de escape y sus

características, esto es, cantidad de polvo, caudal, tamaño del polvo, contenido de humedad... Es difícil definir un criterio único, que permita establecer la extensión de las zonas debida a polvo, como sucede con las zonas gaseosas. Como el polvo se deposita y forma capas, a veces a distancias considerables sin dispersión, también de forma general se debe definir la extensión de la zona clasificada hasta los límites en que se extienda la capa de polvo. Esta distancia de seguridad (como veremos posteriormente) depende directamente de la fuente de escape, que se puede clasificar en zona 20, 21 ó 22. Esta clasificación podemos verla en las siguientes tablas de una forma esquemática:

Frecuencia y duración de la atmósfera explosiva	Nubes de Polvo
Permanente o presente frecuentemente	Zona 20
Probable de forma ocasional	Zona 21
Improbable y por poco tiempo	Zona 22
No cabe esperar su formación	Zona sin riesgo

Tabla 1. Clasificación de las zonas para atmósferas explosivas

Grado de la fuente	Capas de espesor incontrolado	Capas de polvo de espesor controlable	
		Frecuentemente perturbadas	Raramente perturbadas
Continua	20	21	22
Primaria	20	21	22
secundaria	20	21	22

Tabla 2. Clasificación de las zonas para capas de polo

La determinación de las fuentes de escape se ha realizado de acuerdo con las normas UNE-EN 60079-10 y CEI 61241-3, además de la especificación de Repsol ED-A-07.00, titulada "Procedimiento de clasificación de áreas peligrosas".

4.3.3.-Fuentes de ignición.

- **Fuente de ignición:** Una fuente de ignición es aquella que puede transmitir a una mezcla explosiva una cantidad determinada de energía capaz de iniciar la combustión en dicha mezcla.
- **Fuente de ignición efectiva:** A menudo la efectividad de las fuentes de ignición se subestima, o no se reconoce. Su efectividad, esto es, su capacidad para encender una atmósfera explosiva, depende entre otras cosas de la energía de la fuente de ignición y de las propiedades de la atmósfera explosiva. En condiciones distintas de las atmosféricas, las propiedades que determinan la ignición pueden cambiar; así por ejemplo, la energía mínima de ignición de las mezclas con mayor contenido de oxígeno aumenta en potencias de diez.

En la norma europea EN 1127-1 se distinguen trece fuentes de ignición:

1. Superficies calientes
2. Llamas y gases calientes
3. Chispas de origen mecánico
4. Material eléctrico
5. Corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica
6. Electricidad estática
7. Rayo
8. Campos electromagnéticos comprendidos en una gama de 9 kHz a 300 GHz
9. Radiación electromagnética comprendida en una gama de 300 GHz a 3×10^{16} Hz o longitudes de onda de 1000 μm a 0,1 μm (rango del espectro óptico)
10. Radiación ionizante
11. Ultrasonidos
12. Compresión adiabática, ondas de choque, gases circulantes
13. Reacciones químicas

1.- Superficies calientes

- Las atmósferas explosivas pueden encenderse por contacto con superficies calientes cuando la temperatura de una superficie alcance la temperatura de ignición de la atmósfera explosiva.

- Entre las superficies calientes que se pueden encontrar en una refinería, se encuentran, entre otras, las motivadas por tuberías y equipos de proceso que vehiculan productos a temperaturas elevadas de acuerdo a las condiciones necesarias para que se produzcan las necesarias reacciones físicas y químicas. Para determinar si una superficie caliente puede ser una posible fuente de ignición, se utiliza la Norma API RP 2216 "Ignition ROK Hydrocarbon Liquids and Vapors by Hot Surface in the Open air". "In general, ignition of HC by a Hot Surface should not be assumed unless the surface

temperature is approximately 360 °F (182 °C) above the accepted minimum temperature of HC”.

Como se explicará más adelante, para las sustancias inflamables pulverulentas la temperatura superficial máxima admisible para descartar una superficie caliente como fuente de ignición viene determinada por la TMI y EMI de la sustancia.

- Deberá mantenerse un determinado margen de seguridad entre la temperatura máxima previsible en la superficie y la temperatura de ignición de la atmósfera explosiva, si existe la posibilidad de que una atmósfera explosiva entre en contacto con una superficie caliente.

Ejemplo:

- Entre las superficies calientes con funcionamiento normal figuran, por ejemplo, las calefacciones, determinados materiales eléctricos, tuberías calientes, etc.

- Entre las superficies calentadas por funcionamiento defectuoso cabe citar, por ejemplo, el sobrecalentamiento por fricción debido a una lubricación insuficiente.

En el caso de atmósferas explosivas pulverulentas, los depósitos de polvo tienen un efecto aislante y, por lo tanto, obstaculizan la evacuación del calor hacia fuera. Este proceso puede llegar hasta la ignición de la capa de polvo, provocando una combustión interna de la capa de polvo.

2.- Llamas y gases calientes

-Las llamas, incluso las muy pequeñas, figuran entre las fuentes de ignición más efectivas.

-Tanto las propias llamas, como las partículas sólidas incandescentes, pueden producir la ignición de una atmósfera explosiva.

-En las zonas 0 y 20, las llamas deben excluirse totalmente.

-En las zonas 1, 2, 21 y 22, sólo podrán tolerarse las llamas que estén confinadas de manera segura.

-Las llamas desnudas ocasionadas por trabajos de soldadura o fumar, deben impedirse con medidas organizativas.

3.- Chispas de origen mecánico

-En operaciones que implican fricción, choque y abrasión, pueden desprenderse chispas que, a su vez, pueden provocar la ignición de gases y vapores inflamables y de algunas mezclas de niebla o polvo con aire (especialmente mezclas de polvo metálico con aire).

-En el polvo depositado, las chispas pueden iniciar un fuego latente y éste puede convertirse en la fuente de ignición de una atmósfera explosiva.

-También puede producir chispas la penetración de materiales extraños (por ej., piedras o trozos de metal) en aparatos, o partes de instalaciones.

4.- Reacción química

En las plantas petroquímicas, las reacciones químicas se realizan en equipos confinados y cerrados.

-En el caso de las reacciones químicas con generación de calor (reacciones exotérmicas), las sustancias pueden calentarse y convertirse en fuentes de ignición.

-Este autocalentamiento es posible cuando la velocidad de producción de calor es superior a la velocidad de disipación del calor hacia el entorno.

-Entre otros parámetros, son decisivos la relación volumen/superficie del sistema reactivo, la temperatura ambiente y el tiempo de permanencia.

-A su vez, las sustancias inflamables, que puedan haberse formado con la reacción química (por ej., gases o vapores), pueden, en contacto con el aire ambiente, formar una atmósfera explosiva y, de este modo, aumentar considerablemente la peligrosidad de estos sistemas.

5.-Material eléctrico

-Las fuentes de ignición posibles en instalaciones eléctricas son las provocadas, incluso con tensiones pequeñas, por chispas eléctricas y por superficies calientes.

-En las áreas de riesgo, sólo deberá utilizarse material eléctrico que cumpla los requisitos del anexo II de la Directiva 1999/92/CE.

En todas las zonas, el material nuevo deberá seleccionarse con arreglo a las categorías establecidas en la Directiva 94/9/CE o R.D. 400/1996.

6.- Electricidad estática

- En condiciones operativas habituales, pueden producirse descargas en las formas siguientes:

-**Descargas de chispas:** Pueden producirse por la carga de partes conductoras no conectadas a tierra.

-**Descargas en penacho:** Pueden producirse en las partes cargadas de material no conductor, entre las que figuran la mayoría de las materias plásticas.

-**Descargas en haces deslizantes:** Las llamadas descargas en haces deslizantes pueden producirse en procesos de separación muy rápidos, por ejemplo películas en movimiento sobre rodillos, en operaciones de transporte neumático por tubos o recipientes revestidos de material aislante, o en correas de transmisión.

-**Descargas en conos de apilado:** Las descargas en conos de apilado pueden producirse, por ejemplo, en el llenado neumático de silos.

- Estas formas de descarga deben considerarse capaces de encender la mayoría de los gases y vapores de disolventes, al igual que las mezclas de nieblas o polvos con aire. Sin embargo, las descargas en penacho, sólo deben considerarse como una posible fuente de ignición de polvos altamente inflamables.

- Medidas de protección importantes, que deben observarse en función de la zona:

-poner a tierra los objetos e instalaciones conductoras;

-llevar calzado apropiado en suelos de revestimiento apropiado;

-evitar materiales y partes de escasa conductividad eléctrica;

-reducir las superficies no conductoras; y

-En los procesos de transporte y llenado de polvos, evitar los tubos y recipientes metálicos conductores revestidos por dentro del aislamiento eléctrico.

Descargas producidas por los trabajadores:

Además de los procesos indicados anteriormente, hay que prestar especial atención a la acumulación de carga eléctrica en los trabajadores, la cual también es susceptible de producirse en forma de chispa, provocando la inflamación de la atmósfera explosiva.

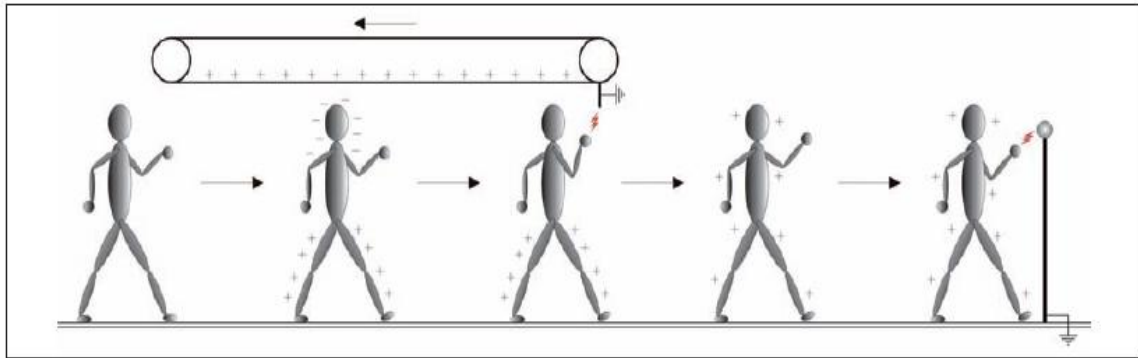


Figura 5. Ejemplo de cargas estáticas en un trabajador.

El cuerpo humano es un buen conductor de la corriente eléctrica, ya que está compuesto en su mayor parte por agua.

La generación y acumulación de cargas electrostáticas en las personas depende de:

- a. Su movimiento en el entorno.
- b. Su contacto con cuerpos susceptibles de cargarse (conducción), o la proximidad de campos eléctricos generados por cuerpos cargados (inducción).
- c. Sus características físicas (estado de humedad de la piel, sudoración, etc.).
- d. La humedad relativa del aire ambiente. Una humedad relativa baja puede propiciar la acumulación de varios kilovoltios de potencial electrostático en un material.
- e. La naturaleza de la vestimenta: la ropa de fibras sintéticas y los guantes o calzado aislantes (goma, plástico) favorecen la acumulación de cargas, ya que son materiales con baja conductividad eléctrica.
- f. Por el mismo motivo que en el punto anterior, un suelo construido o revestido con materiales aislantes favorece la generación y acumulación de cargas estáticas.

Además, la ropa que se lleve puede tener gran influencia en la generación de cargas electrostáticas en el cuerpo; la mayor generación y, por tanto, las situaciones potencialmente más peligrosas se producen cuando la vestimenta exterior es de tejidos de lana, seda o fibras sintéticas.

7.- Campos y ondas electromagnéticos

Sólo se podrán utilizar emisores con certificación ATEX. La utilización de dispositivos móviles está prohibida en la unidad.

4.4.-Clasificación de los equipos y aparatos para ATEX.

4.4.1.-Definición

- **Categoría de aparatos:** Todos los equipos, aparatos y sistemas de seguridad, según el nivel de protección, están diseñados para una atmósfera explosiva determinada. En tal caso, debe marcarse la categoría de aparatos a que corresponden.

4.4.2.- Clasificación

Siempre que en el documento de protección contra explosiones, basado en una evaluación de los riesgos, no se disponga otra cosa, en todas las áreas en que puedan formarse atmósferas explosivas deberán utilizarse aparatos y sistemas de protección con arreglo a las categorías fijadas en el **Real Decreto 400/1996**, de 1 de Marzo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo **94/9/CE**, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

Concretamente, en las zonas indicadas se deberán utilizar las siguientes categorías de aparatos, siempre que resulten adecuados para gases, vapores o nieblas inflamables, o polvos combustibles, según corresponda:

- En la zona 0, o en la zona 20, los aparatos de la categoría 1.
- En la zona 1, o en la zona 21, los aparatos de las categorías 1 ó 2.
- En la zona 2, o en la zona 22, los aparatos de las categorías 1, 2 ó 3.

La utilización de la categoría de aparatos indicada en cada una de las zonas para las que son apropiados, garantiza que dichos equipos no provocarán atmósfera explosiva, ni serán fuente de ignición efectiva.

En ocasiones, bien porque no se comercializan, porque no son del ámbito de aplicación, bien por particularidades de cada equipo, no será posible instalar en cada zona clasificada todos los equipos de la categoría que corresponde. En estos casos, se deben aplicar todas las medidas pertinentes para proceder a la desclasificación de la zona. Si por imposibilidades técnicas o de mercado se utilizan equipos que no tengan la categoría correspondiente a la zona o que no estén fabricados de acuerdo con el RD 400/1996, deberán ser evaluados convenientemente y, en su caso, modificados, adecuados y ensayados para garantizar su utilización segura en dichas zonas, quedando reflejado este hecho en el documento de protección contra explosiones. La responsabilidad del uso de estos equipos en zonas recae de cualquier forma en el empresario.

Existen dos elementos de diferenciación principales de los tipos de equipos a utilizar para atmósferas explosivas.

- **Aparatos del grupo I:** Categoría M1
 Categoría M2

- **Aparatos del grupo II:** Categoría 1
 Categoría 2
 Categoría 3

- I o II es el GRUPO al que pertenece el equipo, conforme se indica a continuación:

- El grupo I corresponde a aparatos y sistemas de protección para minería subterránea, o zonas superficiales de las minas, en las que se pueden presentar mezclas explosivas de gases y polvos.

- El grupo II corresponde al resto de aparatos y sistemas de protección para utilización en presencia de atmósfera explosiva.

El grupo al que pertenece el equipo es importante desde el punto de vista de la utilización, porque las pruebas de evaluación de la conformidad se realizan en condiciones diferentes.

Por tanto, a la hora de utilizar los equipos, es necesario respetar el grupo de utilización indicado en el marcado, y cualquier utilización fuera de este ámbito supondrá un uso no previsto por el fabricante en el cual ya no existe certeza de seguridad del equipo.

- M1 o M2, o bien 1, 2 ó 3, es la CATEGORÍA del equipo; vendrá siempre indicada detrás del símbolo del grupo del equipo, conforme se indica a continuación:

- M1 y M2 corresponden a equipos a utilizar en minería y diseñados para asegurar un nivel de protección muy alto y alto, respectivamente.

Para las categorías asociadas a los equipos del grupo II, a continuación se recogen las definiciones que para las mismas se incluyen en el RD 400/1996, así como sus campos de uso relacionados:

- **Categoría 1**, equipos para utilizar en actividades distintas a la minera y diseñados para asegurar un nivel de protección muy alto. Permanecen seguros en caso de averías extraordinarias.

Los aparatos de esta categoría están previstos para utilizarse en un medio ambiente en el que se produzcan de forma constante, duradera o frecuente, atmósferas explosivas debidas a mezclas de aire con gases, vapores, nieblas o mezclas polvo-aire.

Los aparatos de esta categoría deben asegurar el nivel de protección requerido, aún en caso de avería infrecuente del aparato, y se caracterizan por tener medios de protección tales que:

- o bien, en caso de fallo de uno de los medios de protección, al menos un segundo medio independiente asegure el nivel de protección requerido,

- o bien, en caso de que se produzcan fallos independientes el uno del otro, esté asegurado el nivel de protección requerido.

Esta será la categoría de equipos a utilizar en zonas clasificadas como 0 ó 20.

- **Categoría 2**, equipos para utilizar en actividades distintas a la minera y diseñados para asegurar un nivel de protección alto. Aseguran el nivel de protección en caso de perturbaciones frecuentes y fallos previsibles.

Los aparatos de esta categoría están destinados a utilizarse en un ambiente en el que sea probable la formación de atmósferas explosivas debidas a gases, vapores, nieblas, o polvo en suspensión.

Los medios de protección relativos a los aparatos de esta categoría asegurarán el nivel de protección requerido, aún en caso de avería frecuente, o de fallos de funcionamiento de los aparatos que deban tenerse habitualmente en cuenta.

Esta será la categoría mínima de equipos a utilizar en zonas clasificadas como 1 ó 21, y en consecuencia en dichas zonas también será posible utilizar equipos de categoría 1 (categoría superior).

- **Categoría 3**, equipos para utilizar en actividades distintas a la minera y diseñados para asegurar un nivel de protección normal. Aseguran el nivel de protección durante su funcionamiento normal.

Los aparatos de esta categoría están destinados a utilizarse en un ambiente en el que sea poco probable la formación de atmósferas explosivas debidas a gases, vapores, nieblas, o polvo en suspensión, y en que, con arreglo a toda probabilidad, su formación sea infrecuente y su presencia sea de corta duración.

Los aparatos de esta categoría asegurarán el nivel de protección requerido durante su funcionamiento normal.

Esta será la categoría mínima de equipos a utilizar en zonas clasificadas como 2 ó 22, y en consecuencia en dichas zonas también será posible utilizar equipos de categorías 1 y 2 (categorías superiores).

4.4.3.- Marcado de los equipos

Al hablar del marcado de equipos para uso en atmósferas explosivas, se deben distinguir dos elementos claramente diferenciados:

1. Marcado de conformidad con la Directiva 94/9/CE.

2. Marcado normativo, complementario del anterior, y que está básicamente orientado a permitir una utilización segura del equipo (en términos de instalación, mantenimiento y uso), haciendo referencia a elementos tales como modos de protección empleados en el diseño y construcción del mismo, grupo de gases para el que está destinado, o clase de temperatura del equipo.

A continuación, se presentan las principales características de cada uno de ellos:

4.4.3.1. Marcado de conformidad con la Directiva 94/9/CE

Se pueden distinguir cuatro tipos diferentes de estructura de marcado, dependiendo del tipo de elemento, a saber:

- A) Marcado de aparatos
- B) Marcado de sistemas de protección
- C) Marcado de componentes
- D) Marcado de material asociado

A) Marcado de aparatos

Conforme a lo recogido en el RD 400/1996, se entenderá por “aparatos” las máquinas, los materiales, los dispositivos fijos o móviles, los órganos de control y la instrumentación, los sistemas de detección y prevención que, solos o combinados, se destinan a la producción, transporte, almacenamiento, medición, regulación, conversión de energía y transformación de materiales y que, por las fuentes potenciales de ignición que los caracterizan, pueden desencadenar una explosión. La estructura característica del marcado de estos elementos es la que se presenta a continuación:





	Marca “CE”	Nº Org. Not.	Símbolo ATEX	Grupo	Categoría	Símbolo de uso
Aparatos para uso en minería		XXXX		I	M1 M2	
Aparatos para usos industriales distintos a la minería		XXXX		II	1 2 3	G D G/D

Figura 6. Marcado de aparatos

B) Marcado de sistemas de protección

Se entenderá por “sistemas de protección” los dispositivos, distintos de los componentes de los aparatos definidos anteriormente, cuya función es la de detener inmediatamente las explosiones incipientes y/o limitar la zona afectada por una explosión, y que se comercializan por separado como sistemas con funciones autónomas.

Desde el punto de vista del marcado, es preciso distinguir entre sistemas de protección autónomos y no autónomos. El marcado de los sistemas de protección autónomos es similar al de los equipos, pero para éstos no se especifica una categoría, aunque sí el grupo y el tipo de sustancia explosiva (G o D o ambos).

Con ello, la estructura característica del marcado, para actividades distintas a la minera, sería:

	Marca "CE"	Nº Org. Not.	Símbolo ATEX	Grupo	Símbolo de uso
Sistemas de protección autónomos	CE	XXXX	Ex	II	G D GD

Figura 7. Marcado de sistemas de protección



Figura 8. Ilustración de marcado de protección

C) Marcado de componentes

Conforme se recoge en el RD 400/1996, debe entenderse por "componentes" las piezas que son esenciales para el funcionamiento seguro de los aparatos y sistemas de protección, pero que no tienen función autónoma.

Según se indica en el apartado 3 del artículo 8 del ya referido RD 400/1996, estos elementos están exentos de la fijación del símbolo CE (pero sí deben llevar el número del organismo notificado que interviene en la fase de control de la producción, si es el caso).

Así, la estructura característica del marcado, para actividades distintas a la minera, será:

	Nº Org. Not.	Símbolo ATEX	Grupo	Categoría	Símbolo de uso
Componentes para usos industriales distintos a la minería	XXXX		II	1 2 3	G D G/D

Figura 9. Marcado de componentes

D) Marcado de material asociado

El material asociado, tal como dispositivos de seguridad, control y regulación, como, por ejemplo, las protecciones de sobreintensidad de un sistema de potencia, y que sea necesario o contribuya al funcionamiento en condiciones seguras de los equipos situados en áreas de riesgo (zonas clasificadas), condicionará la seguridad de dichos equipos y, en consecuencia, será también objeto del Real Decreto 400/1996. En este caso, el marcado del material presenta la peculiaridad de que el número de categoría del equipo al cual va asociado (es decir, el equipo situado en la zona clasificada) debe ir incluido entre paréntesis, conforme se indica en el ejemplo que se presenta a continuación:



	Marca "CE"	Nº Org. Not.	Símbolo ATEX	Grupo	Categoría equipo asociado	Símbolo de uso
Material asociado		XXXX		II	(1)	G

Figura 10. Marcado de material asociado



Figura 11. Ejemplo de marcado de un equipo.

4.5.- Implantación general de la planta.

En el **anexo I** se encuentra el plano de implantación general de la refinería objeto de nuestro estudio.



Figura 3. Vista aérea de la refinería de Puertollano



Figura 4. Refinería de Puertollano operando de noche

4.6.- Descripción del proceso y/o actividades.

4.6.1.- Descripción del proceso de la unidad de coquización.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La coquización retardada es un proceso térmico en el cual, un residuo de vacío u otra alimentación adecuada se calienta rápidamente en un horno y posteriormente se confina en una zona de reacción o cámara de coque, bajo unas condiciones apropiadas de presión y temperatura, para que la porción no vaporizada del efluente del horno se convierta en vapores y coque. Los productos resultantes del proceso de coquización retardada son gas (LPG), gasolina, gas oil y coque.

La coquización retardada es una reacción endotérmica, en la que un horno aporta el calor necesario para completar la reacción de coquización. El mecanismo exacto de la coquización retardada es tan complejo que resulta imposible determinar todas las reacciones que transcurren. Sin embargo, tienen lugar tres etapas claramente diferenciadas.

- Vaporización parcial y un ligero cracking (visbreaking) de la alimentación, cuando ésta pasa a través del horno.
- Cracking de vapores, cuando pasa a través de la cámara.
- Cracking sucesivo y polimerización del líquido atrapado en la cámara hasta que éste se convierte en vapores y coque.

La unidad consta de las siguientes secciones:

COQUIZACIÓN:

La Sección de coquización es la parte de la Unidad donde tiene lugar la transformación de la carga en vapores y coque. Se puede dividir en dos partes, correspondientes a los equipos principales de la misma:

- Horno de Coquización
- Cámaras de Coque

Horno de Coquización

La alimentación combinada se calienta en el Horno de Coquización, a través de varios pasos.

Es muy importante, durante la operación normal, mantener un caudal lo más equilibrado posible entre los pasos del horno y obtener así mismo una distribución del flujo de calor uniforme a lo largo de todo el horno.

Para reducir la coquización a lo largo de los tubos del horno, se inyecta agua de calderas a la entrada de los pasos del horno bajo control de caudal.

Esta inyección sirve para ajustar la velocidad y tiempo de residencia de los hidrocarburos en los tubos, con el objeto de disminuir la tendencia a la formación de coque en los serpentines del horno.

Cámaras de Coque

El efluente del horno pasa a la cámara de coque. Una vez en la cámara, donde entra por fondo, la alimentación comienza a convertirse en coque y vapores mientras va llenando el recipiente.

Se dispone de indicadores de nivel radioactivos, situados en el exterior de las cámaras a tres alturas, para seguir la evolución del nivel de coque. El coque nunca debe superar el nivel de los indicadores intermedios ya que el frente de espumas que precede al coque podría producir arrastres de producto líquido o sólido a la línea de cabeza, que provocarían su coquización o su deposición en el fondo de la Fraccionadora.

Las cabezas de las cámaras tienen una inyección de 0-50 ppm de antiespumante, para reducir la formación de espumas en las cámaras en la fase final de su llenado, evitando así arrastres.

El vapor efluente de la cámara sale hacia la Fraccionadora en las líneas de cabeza.

Además de las líneas de proceso, las cámaras disponen de líneas de vaporizado, venteo atmosférico, enfriamiento normal y de emergencia y drenado, que se utilizan al

poner o sacar de servicio las cámaras. Asimismo disponen de numerosos indicadores de temperatura de pared para observar la evolución de éstas durante el enfriamiento y calentamiento de las cámaras. Las líneas horno → cámaras y cámaras → fraccionadora tienen numerosas inyecciones de vapor para dificultar la formación de coque, con bridas para limpieza. Todos los cambios de dirección de estas líneas tienen bridas para posibilitar la limpieza mecánica.

La formación de coque en las cámaras, es un proceso batch. Una vez llena una cámara de coque es necesario vaciarla. Para ello se realiza un cambio de cámara, es decir, el efluente del horno pasa a la otra cámara mientras que la cámara llena se aísla del horno para proceder al enfriamiento y corte del coque formado.

Los rendimientos y calidad de los productos dependen de las siguientes variables de operación:

- Temperatura
- Presión
- Relación de reciclo.

Temperatura:

En general, cuanto más alta sea la temperatura de salida del horno, menor es el rendimiento en coque y gases y mayor el de líquidos, ya que se vaporiza una mayor proporción de la carga, que sale como cola del gas-oil pesado, detrayéndose de la masa que se queda en la cámara.

Si la temperatura es demasiado baja, la coquización no progresa adecuadamente, obteniéndose un coque blando y con alto contenido en volátiles. Por lo tanto, el rango de variación en la temperatura de salida de horno es muy estrecho.

Presión

Al aumentar la presión se dificulta la vaporización en las cámaras, aumentando el tiempo de residencia en las mismas, y por tanto el rendimiento en coque y gases a costa, fundamentalmente del gas-oil pesado, que pierde sus hidrocarburos de cola, disminuyendo su punto final. La Unidad ha sido diseñada para trabajar a una presión mínima de 1,05 kg/cm².

Relación de reciclo.

Influye en el tiempo de residencia en cámaras. Cuanto mayor es la relación de reciclo, mayor es el tiempo de residencia, aumentando así la posibilidad de que se coquice una mayor proporción de la carga, lo que incrementa el rendimiento en coque y gases, a costa del gas-oil pesado.

FRACCIONAMIENTO:

La sección de Fraccionamiento es la parte de la Unidad donde tiene lugar el fraccionamiento del efluente de cámaras en los diferentes productos y el precalentamiento de la carga. Se puede dividir en las siguientes partes:

- Precalentamiento de Carga y Fraccionadora.
- Strippers.
- Reflujo Circulante de HCGO.
- Cabeza de la fraccionadora.

Precalentamiento de Carga y Fraccionadora.

La carga que llega a la unidad de coque es precalentada con los productos que salen de la fraccionadora antes de entrar al horno con el objeto de maximizar la eficiencia energética.

Los vapores que pasan a la fraccionadora desde la cámara de coque se separan por destilación en los siguientes productos: gases, que se incluyen hasta nafta de Coquer, que salen por cabeza; tres cortes laterales, llamados por orden de punto de destilación, Destilado Ligero de Coquer (LCD), Gas-oil Ligero de Coquer (LGCO) y Gas-oil Pesado de Coquer (HCGO), y un producto de fondo que se recicla íntegramente con la alimentación.

Además de estas salidas netas, se extraen de la columna diversas corrientes que se reciclan directa o indirectamente a la misma: Reflujo Circulante de HCGO, gas-oil de enfriamiento, gas-oil de lavado, una corriente de limpieza de fondo y LCD utilizado como hidrocarburo de absorción (sponge oil).

Las corrientes de entrada a esta columna son: alimentación fresca, efluente de cámaras (que incluye gas-oil de enfriamiento), reflujo de cabeza, y retornos de "Strippers", además de los reciclos antes mencionados e hidrocarburo rico de absorción.

Strippers.

El destilado Ligero de Coquer (LCD) , el Gasoli Ligero de coquer (LCGO) y el Gas-oil Pesado de Coquer (HCGO) fluyen por gravedad a sus Stripper .

En el stripper reciben una inyección de vapor, que elimina los componentes más ligeros, los cuales retornan a la fraccionadora un plato por encima del de extracción, elevando así el punto de inflamación de esta corriente.

El LCD producido se envía a mezclarse con el Gas-oil Ligero de Coquer en el límite de batería, o a Slop.

El LCGO se envía previo hidrotratamiento al blending de Gas-oil.

Existen dos salidas de HCGO: al Tanque de FOPY, como combustible interno, o a otra unidad como corrector de viscosidad de fuel-oil.

Reflujo Circulante de HCGO.

Este reflujo desempeña un papel importante durante las operaciones previas y posteriores al cambio de cámaras, ya que debe absorber las alteraciones que se produzcan en la fraccionadora derivadas de los cambios de caudal, composición y temperatura del efluente de cámaras que ocurren durante este periodo.

Cabeza de la fraccionadora.

Los vapores de cabeza de la fraccionadora, son una mezcla de gases, gasolina vaporizada y vapor de agua.

En el Acumulador de Cabeza de la fraccionadora, se separa una fase de hidrocarburos, otra acuosa y una corriente de incondensables.

La fase líquida de hidrocarburos es gasolina sin estabilizar, se divide en dos corrientes. Una, vuelve como reflujo a la fraccionadora. La nafta producto pasa al Absorbedor primario

Los gases de la acumuladora de cabeza de la fraccionadora van al Separador del Compresor.

SECCIÓN DE RECUPERACIÓN DE GASES

La Sección de recuperación de gases es la parte de la Unidad donde se separa la Nafta de Coker estabilizada, el LPG y el fuel-gas ácido.

Los equipos más importantes son el Compresor de Gas de Coquización, las cuatro columnas (Absorbedor primario, Stripper, Absorbedor secundario y Desbutanizadora) y la turbina del Compresor.

Compresor de Gas de Coquización.

El gas pasa a la aspiración de la primera etapa del Compresor de Gas de Coquización, que es centrífugo de dos etapas movido por turbina de condensación.

El controlador de presión, situado en esta línea, regula la presión de aspiración del compresor. Si la presión supera este valor con la turbina a máxima velocidad, mediante el controlador de presión las controladoras de presión en rango partido envían el exceso de caudal a la antorcha.

El gas de descarga de la segunda etapa del compresor se une con las siguientes corrientes: mezcla de agua e hidrocarburos del separador intermedio del compresor, gas de cabeza del Stripper e hidrocarburo rico de fondo del absorbedor. La mezcla entra en el enfriador de descarga del compresor, donde se enfría y condensa parcialmente.

Al igual que en la primera etapa, una aplicación de control, en la que entran el caudal total de segunda etapa, la temperatura de impulsión, la presión de impulsión, la presión diferencial interetapas y el cromatógrafo, regula el reciclo antibombeo de segunda etapa, mandando la señal a la controladora que envía el gas de reciclo a la entrada al enfriador intermedio del compresor.

El efluente del enfriador de descarga del compresor pasa al depósito alimentación absorbedor/stripper, donde se separa una fase gaseosa, otra acuosa y otra de hidrocarburo líquido.

Absorbedor primario y Stripper.

El gas separado en el stripper se envía al plato inferior del Absorbedor. Los hidrocarburos líquidos se envían al plato superior del Stripper, con la bomba de Alimentación.

El agua ácida separada en la columna de alimentación del stripper se envía al Acumulador de Cabeza de la Fraccionadora, manteniendo el control de nivel de interfase agua - hidrocarburo para su desgasificación.

En el Stripper se introducen los hidrocarburos líquidos del depósito de alimentación para eliminar la fracción C2 y más ligeros. El agua acumulada en el Stripper se elimina en el plato de extracción de dicha sección. El agua separada pasa por gravedad al separador de agua de donde se envía al Acumulador de Cabeza de la Fraccionadora.

El Stripper tiene dos rehervidores en serie: el inferior, que utiliza nafta estabilizada de coque de la Desbutanizadora como calentamiento y el superior, que utiliza vapor de media presión.

La presión en el Stripper se controla mediante un controlador de presión en la línea de salida de gas, con lo que se consigue la suficiente diferencia de presión entre la parte inferior del Stripper y la Desbutanizadora. El gas de la parte superior del Stripper se une con la descarga de la segunda etapa del compresor. El líquido del fondo del Stripper alimenta a la Desbutanizadora.

En el Absorbedor primario, el gas del depósito de alimentación circula en contracorriente con el hidrocarburo pobre de absorción para recuperar el LPG del fuel gas ácido. El hidrocarburo pobre de absorción está formado por nafta no estabilizada del Acumulador de Cabeza de la Fraccionadora y una corriente de nafta estabilizada, enfriada y reciclada del fondo de la Desbutanizadora. El hidrocarburo enriquecido del fondo de la sección de Absorbedor se une con la descarga de la segunda etapa del compresor.

Absorbedor secundario.

El gas de cabeza del Absorbedor primario va a la parte inferior del Absorbedor secundario donde fluye a contracorriente con el hidrocarburo de absorción pobre para recuperar nafta del fuel gas ácido. Este hidrocarburo pobre es destilado ligero de coquización sin pasar por el stripper de LCD. El hidrocarburo de absorción pobre se enfría antes de entrar en el Absorbedor secundario. El hidrocarburo de absorción rico del fondo de pasa por el Intercambiador, con el objeto de recuperar calor que de otra manera se perdería, y se devuelve a la Fraccionadora.

El gas de la parte superior del Absorbedor va al Separador de Gas de Cola, cuyo líquido se devuelve a la Fraccionadora como hidrocarburo de absorción rico. El gas seco que se obtiene se envía bajo control de presión a la unidad de aminas o al sistema de fuel gas.

Desbutanizadora

La Desbutanizadora fracciona el producto del fondo del Stripper en dos corrientes: LPG ácido (por la parte superior) y nafta estabilizada (por la parte inferior). El calor se aporta a la Desbutanizadora a través de los rehervidores. El rehervidor de fondo se calienta con reflujo circulante de HCGO procedente del generador de vapor. El rehervidor de extracción lateral, intercambia calor con vapor de media presión como fluido calefactor.

La nafta estabilizada sale por fondo de la Desbutanizadora. Una parte de esta corriente se envía con la bomba de Nafta de vuelta al plato superior del Absorbedor Primario como reflujo. El resto de la nafta estabilizada se envía a almacenamiento.

CICLO DE OPERACION DE LAS CAMARAS DE COQUE

La Unidad consta de tres Cámaras de Coque. El ciclo de cada cámara de coque ha sido representado gráficamente en un croquis, con la descripción del proceso de cada etapa. La duración del ciclo de operación es de 42 horas.

Después de que una de las cámaras ha estado en servicio de coquización durante 14 horas, mediante las válvulas de cambio de cámaras se introduce el efluente del horno en la siguiente de las otras cámaras, dejando 28 horas para realizar la decoquización de la cámara antes de volver a entrar en servicio.

La operación de decoquización consta de las etapas siguientes, partiendo de una cámara llena:

Operación: Vaporizado hacia la Fraccionadora.

El Cambio de posición de la válvula de cambio de cámaras hace pasar el efluente procedente del horno a la cámara vacía en servicio. A la cámara llena de coque se le pasa vapor, enviando los vapores de cabeza a la fraccionadora.

Esta operación permite recuperar los hidrocarburos ligeros contenidos en el coque. El sistema de condensación de cabeza, la fraccionadora y los equipos auxiliares se han diseñado para poder tratar esta cantidad de vapor extra.

Operación: Vaporizado hacia el sistema de Purga.

Se aumenta el caudal de vapor a la cámara y se envía el efluente hacia la columna Enfriadora de Purga.

En esta operación se intentan recuperar los hidrocarburos pesados que impregnan el coque sin alterar la operación de la Fraccionadora y reducir el contenido en volátiles (VCM) del coque producido.

Operación: Enfriamiento y llenado con agua.

Se corta el vapor y se envía agua para enfriar la cámara de coque por medio de la Bomba de Agua de Enfriamiento, que se alimenta del Tanque de Agua. El vapor generado en la cámara de coque junto con los restos de hidrocarburos aún existentes, fluye al sistema de purga a través de la Columna Enfriadora de Purga, Condensador de Purga y el Recipiente de Decantación de Purga donde se condensa.

Esto continuará hasta que la cabeza de la cámara de coque alcance aproximadamente 177°C. En ese momento, el efluente de la cámara se enviará directamente al Condensador de Purga, y al Recipiente de Decantación de Purga. Operar de esta manera permite recuperar los residuos parafínicos más pesados arrastrados con el vapor en la Columna Enfriadora de Purga y asegurar que los residuos parafínicos recuperados estarán totalmente libres de agua. El aceite procedente del Recipiente de Decantación de Purga es bombeado mediante la Bomba de Slop, al sistema de slops o retornado a la Columna Enfriadora de Purga.

El Agua procedente del Recipiente de Decantación de Purga se envía mediante la Bomba de Agua de Purga, al Tanque de Agua de decoquización o a otra unidad.

El enfriamiento final de la cámara de coque se realiza usando el máximo caudal de agua procedente de la bomba, de Agua de Enfriamiento para llenar la cámara de coque con agua.

Operación: Drenaje de Agua y Desembridado

Drenaje de la cámara de coque. Después del drenaje las bridas de cabeza y fondo son retiradas y se conecta la tolva de descarga de coque.

Operación: Corte de Coque.

Cuando las bridas de cabeza y fondo han sido retiradas la bomba de Corte que aspira del tanque de agua y el equipo de Decoquizado Hidráulico, se ponen en servicio y la operación de corte empieza. Inicialmente se realiza un pequeño taladro con agua a presión a lo largo del lecho de coque, el suficiente para que la herramienta de corte pase sin dificultad. Esta perforación inicial se lleva a cabo con la herramienta de perforación. Después de esta operación, la herramienta de perforación se reemplaza por la herramienta de corte final, la cual corta finalmente el coque contenido en las cámaras.

El coque cae en una tolva de recogida que lo conduce a una plataforma de manipulación de coque, Pad, situada por debajo de las cámaras. El agua fluye a unos canales de sedimentación de coque situados en un extremo de la plataforma de coque.

Los finos de coque se eliminan del agua utilizando el lecho de coque situado sobre la plataforma como un medio filtrante.

La limpieza final del agua de decoquización se realiza mediante el paso por unos canales de sedimentación. El agua limpia se bombea mediante la Bomba de Agua Decantada, al Tanque de Agua, para volver a ser utilizada.

Operación: Embridado y Pruebas

Después del corte de coque, se reinstalan las bridas de cabeza y fondo, su purgan las cámaras con vapor y se realizan pruebas de estanqueidad.

Operación: Precalentamiento.

Para volver a entrar en servicio, la cámara limpia se precalienta con vapores procedentes de la cámara que está en ese momento en la secuencia final de la operación de coquización.

Operación: Coquización

La cámara precalentada se pone en servicio y el ciclo se repite para otra cámara.

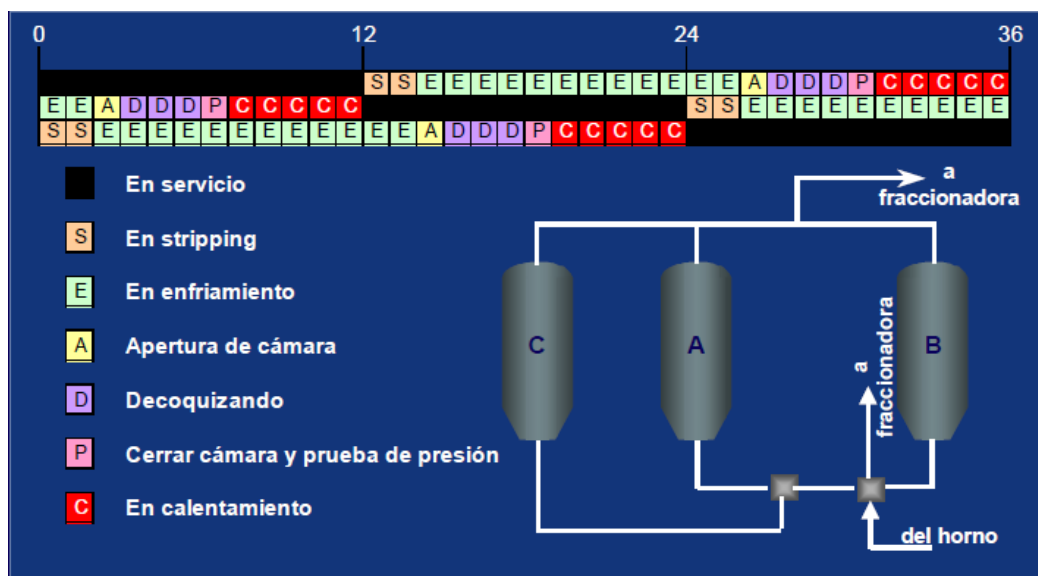


Figura 12. Ciclos de operaciones de las cámaras de coque



Figura 13. Cámaras de coque



Figura 14. Coque drums

En el **Anexo I** podemos ver un plano de implantación de los coque drums y el PAD de coque.

4.6.2.-Descripción del proceso del parque de recogida de coque.

4.6.2.1.-Descripción general del proceso

El proceso consiste en la manipulación del coque mediante una serie de cribados en cascada del coque bruto, que como subproducto se obtiene de la Unidad de Coquización de Conversión, su almacenamiento y su expedición a clientes.

Materia Prima. Características

La materia prima es el coque una vez cortado con agua a presión en las cámaras de coquización retardada de la unidad, por lo que el coque llega a la campa acompañado de una gran cantidad de agua, que le hace apelmazarse y no ser apto para ser cribado de forma inmediata, por lo que ha de dejarse reposar y que por escurrido y evaporación se elimine la máxima cantidad posible de agua.

La cantidad de agua es variable, dependiendo del ritmo de producción de la planta, que condiciona el tiempo de reposo antes del cribado.

En cuanto a la calidad; forma (tipo esponja o tipo esferas), la untuosidad, el contenido en volátiles, el contenido en azufre y la dureza, dependen de las condiciones de operación de la Planta de Coque y especialmente del tipo de su alimentación

Para el proceso en la campa de clasificación, de los parámetros anteriores, el más favorable es el de la forma del coque cuando esta en esferas, pero el parámetro que más afecta, es la distribución de tamaños que se produce en el corte de la cámara y que está influenciado por la forma y el tiempo empleado en efectuar el corte.

La distribución en porcentaje de tamaños granulométricos, no es por tanto uniforme y varía de unas a otras cocadas (cantidad resultante del corte de una cámara, vulgarmente llamada producción).

Una vez seca la mayoría de los tamaños está por debajo de los 15 mm, y aunque se dan tamaños superiores incluso a los 300 mm., son pocos en el conjunto total. Estos tamaños superiores a 300 mm. no los admite el proceso y se reducen por golpeo de las palas mecánicas que manipulan el coque.

Proceso actual

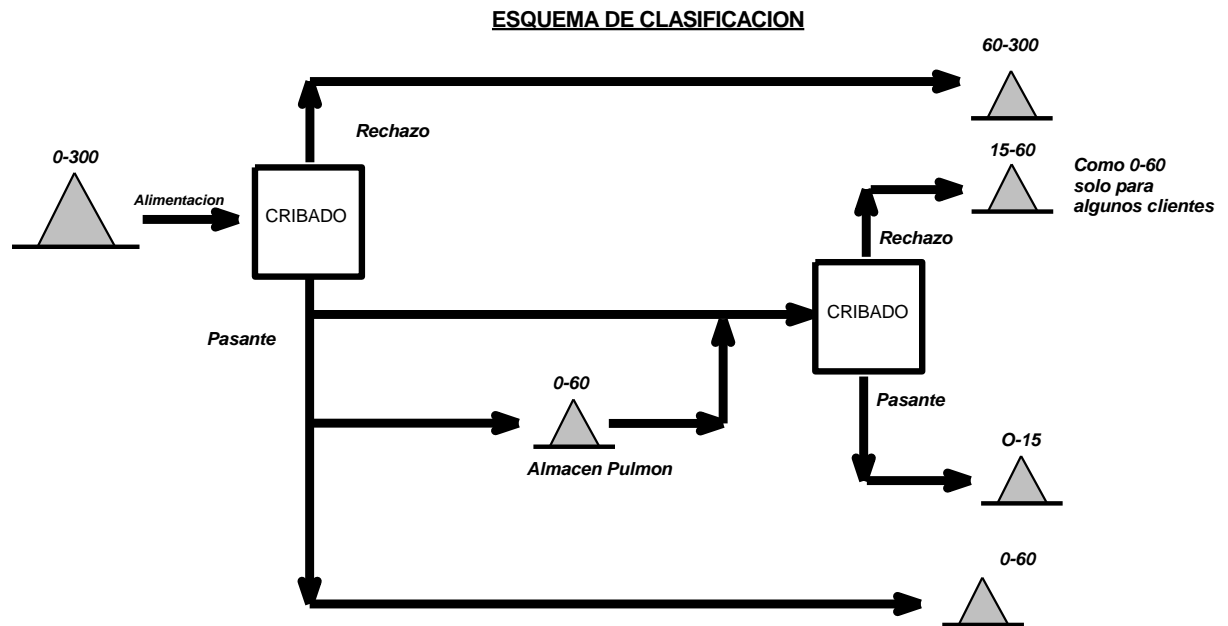


Figura 15. Esquema de clasificación del coque. ("Manual de operaciones de Repsol YPF")

El proceso actual trata el coque de tres procedencias distintas, según el lugar de la Planta de Coque desde donde se manda a la campa de almacenamiento y cribado, dando lugar a un proceso principal y dos secundarios A y B.

Línea Principal (coque grueso)

El coque "todo uno" (denominado "0-300", aunque tenga tamaños mayores), procedente de la solera de las cámaras de coque, se deposita en una zona fuera de la campa de clasificación a un nivel de altura superior a ella y a una distancia razonable del principio de la cadena de máquinas (tolvas, cintas transportadoras, cribas, etc), en forma de **U**.

Normalmente, las cocadas retiradas de la Planta de Coque en un mismo día se colocan en una lado de esta **U**, de modo que al ir rotando, cada dos cocadas se tienen entre 24 y 48 h. de reposo y escurrido, antes de ser cribadas, ya que aproximadamente a ritmo máximo normalmente se obtienen 2 cocadas días (corte de cámaras cada 12 h.).

Esto es una estimación media, pues dependiendo de otros factores la planta llega a producir una cocada cada 10 u 11h., lo que significa en cocadas enteras por día, que cada 5 días hay 4 con dos cocadas y uno con 3.

El proceso de alimentación a la cama de clasificación es por tanto discontinuo y así mismo el proceso de cribado también lo es,

El proceso está orientado a obtener los tamaños de calidad granulométrica que más demandan los clientes y que son los siguientes:

- Tamaño calidad "0-60"

- Tamaño calidad "0-15"

quedando un residuo de calidad "60-300" que también se comercializa pero solo para eliminarlo y el objetivo es minimizarlo.

Obtención de los tamaño 0-60 y 60-300

Desde el almacenamiento 0-300, una vez el coque escurrido lo máximo posible, es cargado con palas mecánicas a una tolva desde la que se alimenta la criba primaria a través de una cinta transportadora, que lo eleva lo necesario para que caiga en ella.

Al final de la cinta y antes de caer en la criba existe un separador magnético, que elimina los elementos metálicos que pueden acompañar al coque (tornillos, juntas, etc).

La criba primaria o principal, tiene montado un paño de cribado con luz de malla de 60 x 60 mm., que consigue un pasante de granulometría 0-606, mientras que el rechazo es de granulometría 60-300 (aunque verdaderamente es solo como denominación).

Realmente en el rechazo:

- Ninguna operación de separación puede tener un rendimiento del 100%

- El coque puede estar algo húmedo y aglomerarse en tamaños mayores

- El coque puede ser untuoso y pegarse al paño de la criba reduciendo la luz de malla.

- El coque al ser un material de poca dureza, es fácilmente disgregable por golpeo (caídas desde cintas al montón, golpes de las palas al manipularlo, etc.).

Se aprecian tamaños de granulometría menor de 60 mm.

Este rechazo, se puede volver a recibir por la misma criba primaria, en épocas en las que la alimentación desde la planta de coque es reducida y está por bajo de la capacidad de cribado.

El tamaño +60, sale de la criba y mediante una cinta móvil, se almacena en forma de riñón cónico en el radio de acción de la misma.

Desde este almacenamiento se envía a comercialización o se traslada a otros lugares de almacenamiento provisional.

El tamaño pasante de calidad granulométrica "0-60", sale de la criba y mediante otra cinta móvil, se traslada a una de las tres siguientes opciones posibles:

- 1.-Alimentando directamente en línea a otra tolva que lo lleva a la criba secundaria de obtención del tamaño "0-15".
- 2.-Formando almacén en un espacio libre destinado a este fin, desde donde en ocasiones favorables, se alimenta la tolva del punto anterior, o se retira con palas a otro lugar.
- 3.-Alimentando directamente a una cinta fija horizontal que lo deposita en una tolva subterránea desde donde una cinta fija lo eleva a los silos de almacenaje y expedición. Desde este punto, si los silos están llenos, se retira con palas mecánicas a almacenarlo en un apilamiento en la zona próxima a la tolva en la campa de clasificación.

Este último almacenamiento de 0-60, hace de reserva pulmón y desde él:

- Se rellena la tolva subterránea de la campa que alimenta los silos de expedición, mediante palas mecánicas, cuando la carga desde estos es mayor que la alimentación, por la cinta fija y por tanto disminuye la cantidad en silos.
- Se cargan camiones con palas mecánicas, cuando el número de estos es mayor que la velocidad de carga de los mismos y se acumulan esperando entrar en silos.

El rendimiento de la operación en una sola pasada es puntualmente muy variable (en función de los factores del propio coque, forma de cortarse, crudo del que procede y del propio cribado), y puede oscilar de un 75 a un 90%.

Por datos medios a lo largo del tiempo se tiene por experiencia que está alrededor del 82 % de pasante sobre alimentación.

Cuando se hace recribado del 60-300, los rendimientos globales aumentan aproximadamente en el orden siguiente:

Rendimiento acumulado en %			
Tamaños	Cribado primario	1ª Recibado del rechazo 45-300 anterior	2ª Recibado del rechazo 45-300 anterior
60-300	20	14	13
0-60	80	86	87

Tabla 3. Rendimientos globales acumulados

En cualquier caso, la mayoría de la distribución según los datos que se tienen para una calidad granulométrica de 0-60, es la siguiente:

TAMAÑO	%
> 25 mm.	1,74
> 15 mm	8,87
> 8 mm	10,25
> 5,5 mm	5,50
> 4 mm	8,72
> 2 mm	33,32
> 1 mm	13,03
> 0,5 mm	7,23
> 0 mm	11,34

Tabla 4. Distribución porcentual de la distribución (calidad 0-60)

Obtención tamaño 0-15

Este tamaño se obtiene a partir del 0-60, partiendo de la situación 1 o la situación 2 del apartado anterior, que alimenta a la criba secundaria dotada de paños con luz de malla de 15 x 15 mm.

Lo más habitual, por ahorro de costes, es la opción de alimentar con palas mecánicas desde el almacenamiento de 0-60 y no en línea.

En la entrada de la criba también existe como en la anterior, un separador magnético de metales férricos.

El rechazo, es el tamaño de calidad "15-60", sale de la criba y mediante una cinta móvil, lo almacena en forma de riñón cónico en su radio de alcance. Desde aquí o se comercializa tal cual cargándolo en camiones mediante palas mecánicas o mas habitualmente como 0-60 pero solo para determinados clientes.

El pasante, que es el tamaño de calidad granulométrica de "0-15", es el que interesa de esta operación; sale de la criba y mediante cinta se almacena provisionalmente en su radio de acción, para trasladarlo posteriormente con palas mecánicas al lugar de la campa destinado para su almacenamiento.

Desde este último se envía a comercialización cargando en camiones con palas mecánicas.

El rendimiento de la operación es aproximadamente de un 90 %

Línea secundaria A (finos de coque)

Este proceso trata los finos de coque producidos en el proceso de corte de las cámaras y que por su tamaño tan pequeño son arrastrados a unas piscinas de decantación existentes y no quedan en el montón de coque que se retira de forma normal.

Estos finos los sacan aproximadamente una vez al día, con una cuchara de dragar y se transportan con un camión hasta unas balsas preparadas, mediante un suelo inclinado y hormigonado y unos muros realizados con el mismo producto seco, justo al lado de la campa.

En ellas el agua se elimina en su mayor parte por evaporación y decantación y en menor medida por filtración. Su aspecto es el de una papilla fluida.

Cuando está lo suficientemente seco para no resbalar, se saca de esta balsa con palas mecánicas y se deposita en un lugar de la campa de clasificados, de donde se comercializa tal cual.

Como este producto así manipulado, no sufre ningún tratamiento de cribado, puede contener tamaños de coque bastante superiores por arrastre desde la solera de las cámaras de la planta a las piscinas de decantación (generalmente bolas de hasta 200 mm de diámetro), por lo que en su movimiento con las palas mecánicas, se ha de vigilar su existencias para retirarlos.

El producto una vez seco se puede mezclar con el “todo uno” para incorporarlo a la Línea Principal, pero como tarda mucho en secar causa problemas de apelmazamiento en las cribas y no es recomendable el hacerlo.

Línea secundaria B (finos de balsas)

La Planta de Coque envía también unos tamaños aún más finos que los anteriores y por tanto aún más difíciles de separar y secar, procedentes de las purgas de los lodos del tanque de agua de corte. Este envío es esporádico. Este tipo de lodos se depositan de igual forma que los anteriores pero en otras balsas distintas; en ellas una vez secos se saca con palas el producto procurando no arrastrar el fondo para no mezclar la tierra sobre la que está construida la balsa. Después de retirados se añaden al montón de almacenamiento del punto anterior y se comercializan juntos. La cantidad de este tipo es muy pequeña.

PROCESO DE CARGA Y EXPEDICIÓN

El proceso de carga y expedición se realiza para las distintas calidades granulométricas comerciales desde los siguientes puntos:

Calidad	Carga desde	Observaciones
"0-60"	Silos	Directamente a camión o vagón
	Montones	Con pala mecánica a camión
"0-15"	Montones	"
"60-300"	Montones	"
"Finos"	Montones	"

Tabla 5. Proceso de carga y expedición

La carga con pala mecánica a camiones, no necesita describirse por elemental y es idéntica en todas las calidades, haciendo notar que las palas disponen de control de pesada por cazo para ajustar lo máximo posible el peso solicitado.

La carga desde silos empieza en la tolva subterránea de la campa de clasificación, desde donde mediante una cinta fija se llenan dos silos idénticos, situados sobre dos básculas de pesaje.

Desde uno de los silos se puede cargar tanto camiones como vagones de ferrocarril y desde el otro solo camiones.

La carga desde silos, se hace posicionando el vehículo (camión o vagón), en la báscula y una vez pesado (tara en vacío), se empieza a cargar cayendo el coque desde el silo con unos alimentadores vibrantes, situados en la parte inferior de los mismos y que mediante un fuelle telescópico, conducen el coque al vagón o a la caja del camión.

Para que la carga quede uniformemente repartida, el vehículo debe ir desplazándose mientras cae el coque según va viendo el Operador de la Báscula, que maneja los mandos de paro y arranque del alimentador, ordenando por megafonía al conductor que avance o retroceda, según proceda.

Así se llega al punto que teniendo el camión lleno y completamente centrado sobre la plataforma de la báscula se vea que:

- El peso total no excede de 40.000 kgs
- Sin excederlo, el lomo que forma el coque se vea que no puede derramarse por los laterales al circular y que no impide al conductor poner el toldo protector.

Cuando se cargan vagones de ferrocarril, hay que tener en cuenta que al ser los vagones de mayor longitud que los camiones, se emplean las dos básculas en tándem, que hay bajo el silo correspondiente al ferrocarril.

De igual forma que con los camiones, el vagón se carga desplazándolo bajo el punto de carga del fuelle telescópico del alimentador vibrante, de forma que la carga quede uniformemente repartida a lo largo de la tolva del vagón. En este caso el peso máximo autorizado es de 80.000 Kg, aunque generalmente se llena totalmente sin alcanzarlo.

Las cargas de camiones con pala, tienen el inconveniente frente al silo, que al no poderse ajustar bien con la pala el peso máximo permitido de 40.000 kgs, necesitan desplazarse varias veces de la báscula al punto de almacenamiento para acabar de rellenar o para vaciar el exceso.

Control de producto final

El control se hace en cuanto a calidad física del producto y a calidad granulométrica (tamaños de comercialización).

Calidad Física.

El operario de la Campa de Clasificación de Coque, realiza la toma de muestras del coque, siguiendo un procedimiento establecido.

La evaluación de la calidad del producto se lleva a cabo según se describe en el en el procedimiento anteriormente mencionado, y mediante el S.G.L. se tiene conocimiento de los análisis, de forma que si el producto cumple las especificaciones, el S.G.L. asigna un nº de análisis al certificado de calidad.

La calidad en cuanto a dureza, azufre, cenizas, volátiles y contenido en carbono, es idéntico para todas las calidades, ya que como se ha visto en la descripción del proceso no hay transformaciones del mismo y solamente separaciones físicas por medios mecánicos.

Calidad granulométrica.

Las distintas calidades comerciales, se almacenan en montones o parvas separadas, y en los lugares designados para cada una de ellas dentro de la camp.

Cada lugar está identificado de forma fácilmente visible con carteles rotulados con las calidades correspondientes.

RECUPERACION DE AGUAS

Durante todo el tiempo que permanece el coque en la camp previa y en la propia de clasificación, va escurriendo el agua que trae desde la Planta de Coque.

Estas aguas, más la que se emplea para regar esporádicamente los montones y pilas de coque almacenado, para evitar en lo posible el levantamiento de polvo durante la manipulación del producto, se recogen mediante una red de drenajes del terreno, en un canal que circunvala la camp de coque clasificado.

Desde el canal, el agua se conduce a una balsa decantadora que dispone de varios compartimentos; en la primera de mayor superficie, el agua que es ligeramente ácida y por tanto algo corrosiva, decanta las partículas de coque y tierra que lleva por arrastre de los canales, depositándose estas en el fondo.

Por rebose el agua pasa al segundo compartimiento, desde donde unas bombas la envían por los canales de aguas pluviales a la balsa de tratamiento de aguas residuales del complejo (T.A.R.)

El compartimiento primario, dispone de una bomba de achique de agua para dejarla periódicamente vacía en operaciones de limpieza y retirada de fangos.

Para retirar los fangos, la balsa está construida con un acceso inclinado para que puedan acceder las palas mecánicas, que los cargan y trasladan a un terreno fuera de la campa.

BASES DE DISEÑO

En el diseño inicial para exportación todo uno era, lo que actualmente corresponde a la parte del proceso y expedición por silos.

Los parámetros más importantes son:

Producción anual de coque..... 250.000 tm (340 días al año)
Densidad real del producto..... de 1,5 a 2,0 tm/m³
Densidad aparente de 0,85 a 0,95 tm/m³ (dentro de cámara)
Humedad..... del 8 al 12% en peso
Granulometría..... >10 mm el 54% ; < de 1 mm el 15%
Cinta alimentación a silos..... 350 tm/h
Salida de silos..... 320 tm/h
Capacidad almacenamiento campa... 30.000 tm
Superficie de la campa..... 25.000 m² (para apilamiento a 3 m. de altura)

En una modificación posterior, se hace una nueva campa de almacenamiento de coque bruto

Capacidad almacenamiento 0-300..... (11.500 + 7500) tm
Alimentación..... 180 Tm/h
Almacenamiento todos tamaños..... 37.500 tm

En la actualidad, con la instalación anterior y una cinta fija para 0-45, los datos son:

Producción anual de coque..... 450.000 tm (340 días al año)
Capacidad almacén 60-300..... 3.000 tm
Capacidad almacén 15-60..... 1.000 tm

Capacidad almacén 0-15.....	5.000 tm
Capacidad almacén 0-60.....	35.000 tm (pila de 3m de altura)
Capacidad almacén finos.....	1.800 tm
Capacidad cinta horizontal.....	220 tm/h



Figura 16. Imagen de diferentes Cintas transportadoras y silos del parque de recogida de coque



Figura 17. Imagen de uno de los montones del parque de recogida de coque



Figura 18. Imagen de descarga del coque desde una de las cintas transportadoras

4.7.-Lista de equipos y fuentes de escape.

Aunque el objetivo del proyecto es la clasificación de zonas debido a atmósferas pulverulentas, como ejercicio didáctico se ha realizado la lista completa de fuentes de escape de toda la unidad de coquización y su clasificación por riesgo.



Figura 19. Diferentes equipos de la Unidad de coquización



Figura 20. Zona de cámaras de coquización

Las tablas con la clasificación de las fuentes de escape se encuentran en el anexo II para gases y polvo

4.8.- Descripción de las sustancias / parámetros de seguridad.

Las sustancias pulverulentas, granuladas o pastosas (excepto los polvos de metales o aleaciones metálicas, se clasificarán como sólidos que entran fácilmente en combustión cuando en una o más de las pruebas efectuadas conforme al método descrito en la subsección 33.2.1 de la parte III de las Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas, Manual de Pruebas y Criterios, el tiempo de combustión sea inferior a 45 s o bien la velocidad de la combustión sea superior a 2,2 mm/s.

Los polvos metálicos o las aleaciones metálicas se clasificarán como sólidos inflamables si hay ignición y si la reacción se propaga en 10 minutos o menos a todo lo largo de la muestra.

Un sólido inflamable deberá clasificarse en una de las dos categorías de esta clase mediante el método de prueba N.1 que se describe en la subsección 33.2.1 de las Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas, Manual de Pruebas y Criterios, de acuerdo con la tabla 2.7.1:

<u>Categoría</u>	<u>Criterio</u>
1	Prueba de velocidad de combustión Sustancias y mezclas distintas de polvos metálicos: a) La zona humedecida no impide la propagación de la llama, y b) El tiempo de combustión es < 45 s o la velocidad de combustión > 2,2 mm/s Polvos metálicos El tiempo de combustión ≤ 5 min
2	Prueba de velocidad de combustión Sustancias y mezclas distintas de polvos metálicos: a) La zona humedecida impide la propagación de la llama durante al menos 4 minutos, y b) El tiempo de combustión es < 45 s o la velocidad de combustión > 2,2 mm/s Polvos metálicos El tiempo de combustión es > 5 min y ≤ 10 min

Tabla 6. Criterios de clasificación de una sustancia

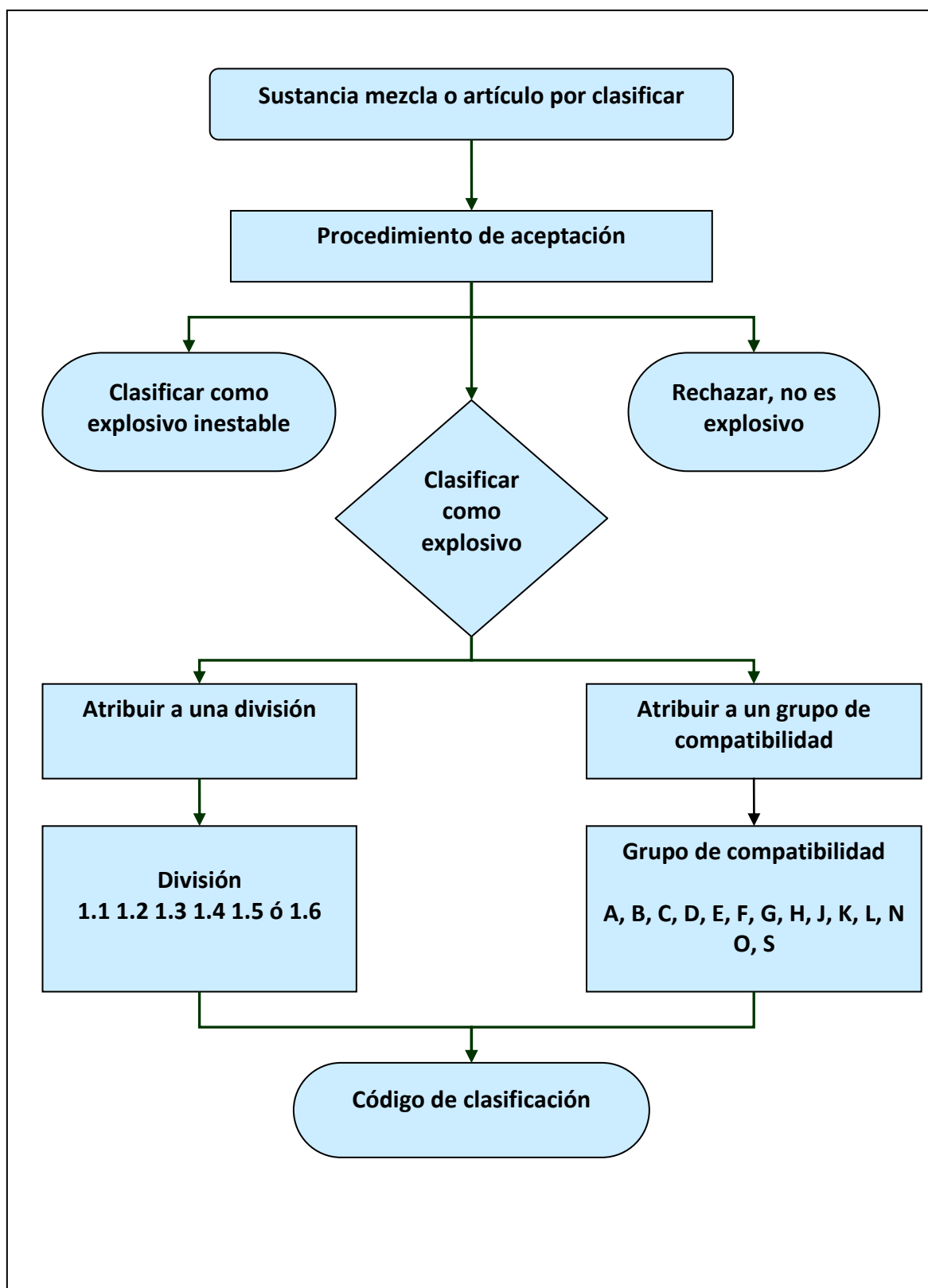


Figura 21. Esquema general del procedimiento de clasificación de una sustancia, una mezcla o un artículo como explosivo.

Como hemos dicho antes el objeto de nuestro proyecto es la clasificación y determinación de emplazamientos peligrosos ante atmósferas explosivas debidas a polvos. En la unidad de coquización retardada se crean dichas atmósferas debido a la descarga del coque en las campas que libera polvo de coque inflamable.

El coque de petróleo es un subproducto sólido del proceso de refinamiento del petróleo. Se utiliza en todo el mundo en distintas industrias como la cementera, la termoeléctrica, la energética y la producción de aceros, entre otras. El coque es lo que queda después de refinar el petróleo. Un sólido poroso, de color negro o gris oscuro, que contiene altas cantidades de azufre y metales pesados, como el níquel y el vanadio, y que puede ser utilizado como combustible. Su nivel de impureza -y también su grado de toxicidad- está directamente relacionado con la naturaleza del petróleo del cual se extrae. El coque de petróleo es insoluble en agua, y puede contener materia volátil (hidrocarburos) entre un 10 y 15%. Químicamente es estable y no reactivo bajo condiciones normales. Su constituyente principal es el carbono, además de azufre (en mayor proporción), nitrógeno, oxígeno e hidrógeno. También tiene trazas de hierro, magnesio, sodio, calcio, níquel y vanadio.

El coque al ser un material de poca dureza, es fácilmente disgregable por golpeo (caídas desde cintas al montón, golpes de las palas al manipularlo, etc.)

En el proceso de descarga, en la campa y la carga en camiones del coque seco, esta sustancia libera polvo en la atmósfera que se puede depositar en ciertas zonas de la planta creando capas de polvo o creando nubes de polvo potencialmente peligrosas, dando lugar a la creación de una ATEX. Es aquí cuando empieza nuestro problema a la hora de clasificar las zonas para buscar soluciones de seguridad y así evitar dichos riesgos de explosión o al menos minimizarlos hasta que no entrañen un riesgo laboral.



Figura 22. Coque de petróleo

A continuación se muestra una tabla con las especificaciones y datos del coque determinadas mediante diferentes análisis en el laboratorio de la refinería y que serán empleadas para el proyecto.

Especificación	Valor
Contenido total en azufre (%P)	7.5
Humedad (%P)	8 - 12
Contenido en cenizas (%P)	0.3
Volátiles (%P)	12,7
Contenido en metales (ppm Ni + V)	590
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	8500
Índice de dureza Hardgrove	47
Nitrógeno (%P)	1.07
Producción (Tm/d)	1102
TMI (Temperatura mínima ignición en nube) °C	601
TMI (Temperatura mínima de ignición en capa) °C	280
Concentración mínima explosiva g/cm ³	1000
Presión máxima (bar)	2.45

Tabla 7. Especificaciones para la producción de coque



Figura 23. Bolas de coque intermedio



Figura 24. Coque verde

5.- Criterios generales para la evaluación del riesgo.

En primer lugar hay que mencionar que en la normativa UNE no se encuentra disponible ningún método matemático para calcular la extensión de las zonas peligrosas debido a atmósferas explosivas. Esta normativa presenta una clasificación de las áreas de riesgo y su extensión de forma cualitativa y por tanto de una manera aproximada. Se van a evaluar en estos apartados dos métodos para realizar la clasificación de áreas y su extensión. Un método cualitativo que propone la normativa UNE y un método más exacto procedente de la Normativa Italiana CEI y recomendado en algunas comunidades autónomas y que está basado en cálculos matemáticos.

La clasificación en áreas de los emplazamientos se basa en la información de entrada obtenida a partir de un cierto número de fuentes. Lo primero es comprobar si se trabaja con productos combustibles, en particular, en este caso, si se trata de sustancias pulverulentas combustibles. La inflamabilidad del polvo puede ser confirmada por los ensayos de laboratorio. Se requiere una buena comprensión de las características del material a utilizar en el proceso y éstas deberían obtenerse de un experto del proceso. Hay que tener en cuenta el régimen de funcionamiento y el mantenimiento de la instalación industrial, incluyendo la limpieza de la planta. Los conocimientos técnicos de un experto pueden ser necesarios igualmente para aportar información acerca de la naturaleza de los escapes desde elementos particulares de instalaciones industriales. Es necesaria una estrecha colaboración de los expertos en seguridad y en equipos. Las definiciones acerca de las zonas de riesgo tratan únicamente del riesgo de formación de nubes.

Las etapas para identificar las zonas de riesgo son:

a) Determinación de las características del polvo combustible.

La primera etapa consiste en identificar las características del material; si es combustible o no y, para el material seleccionado, el tamaño de las partículas, el contenido de humedad, la temperatura mínima de inflamación en nube y en capa, y la resistividad eléctrica.

b) Identificación de las fuentes de escape y su grado

La segunda etapa consiste en identificar en dónde pueden estar presentes las fuentes de escape. Es necesaria la consulta de los diagramas de la cadena de fabricación y de los planos de la instalación. Esta etapa debería incluir la identificación de la posibilidad de formación de capas de polvos.

c) Identificación de la probabilidad de formación de atmósferas pulverulentas.

La tercera etapa consiste en determinar la probabilidad que tiene el polvo de escaparse desde sus fuentes y por tanto, la posibilidad de que aparezcan mezclas explosivas de polvo y aire en las diversas partes de la instalación.

Es solamente después de estas etapas que las zonas pueden ser identificadas y definirse sus extensiones. Las decisiones sobre los tipos y las extensiones de zonas, y sobre la presencia de capas de polvos, deben registrarse sobre el esquema de clasificación de zonas. (El esquema se utilizará subsecuentemente como base para la elección de los equipos).

Las razones para las decisiones tomadas deberían registrarse en notas en el estudio de clasificación de emplazamientos para facilitar la comprensión en las futuras revisiones de la clasificación de emplazamientos. Las revisiones de clasificación de emplazamientos deben realizarse después de las modificaciones del proceso o de las modificaciones en los materiales del proceso, o en caso de que las fugas de polvo lleguen a ser corrientes debido al deterioro de la planta. Es apropiado hacer revisiones periódicas. Puesto que la normativa debe cumplir un amplio abanico de circunstancias, ninguna identificación exacta sobre las medidas necesarias puede darse para cada caso en particular. Por lo tanto es importante que el procedimiento recomendado sea seguido por el personal que tenga el conocimiento de los principios de la clasificación de los emplazamientos, de los materiales utilizados en el proceso, de la instalación industrial implicada y de su funcionamiento.

En la mayoría de los casos, una capa de polvo contiene suficiente polvo como para crear mezclas explosivas de polvo/aire. Todos los lugares en las que se forman capas de polvo con espesor suficiente y en las que, debido a operaciones del proceso, se pueden remover para constituir mezclas explosivas de polvo/aire el lugar, por lo tanto, debe clasificarse.

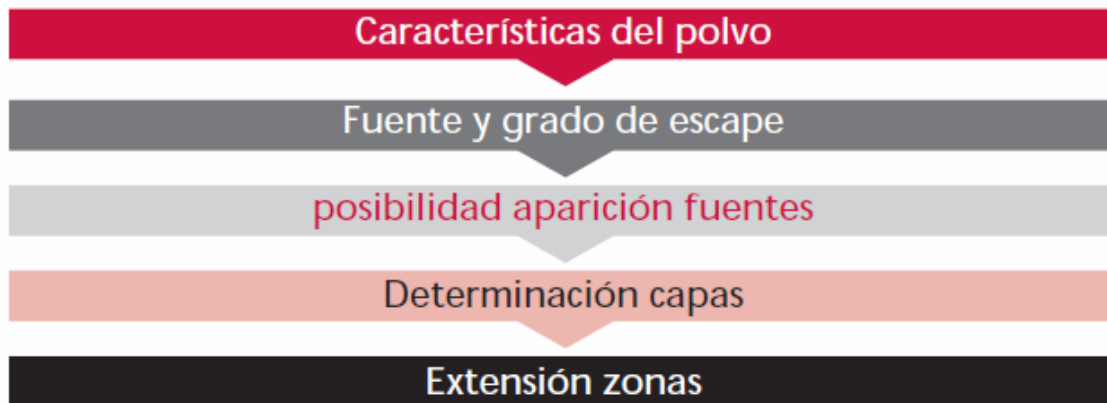
Otro de los riesgos que posee las capas de polvo son el de producir un incendio debido a que se depositan sobre equipos o aparatos eléctricos susceptibles de que la cubierta alcance una temperatura tan elevada que pueda producir la ignición del polvo en capa.

Se debería tener en cuenta el hecho de que con el tiempo, es igualmente posible la formación de capas de polvo peligrosas a partir de nubes de polvo muy diluidas.

El lugar se clasificará como seguro solamente si la capa se elimina por medio de limpieza, antes de que se pudieran formar mezclas peligrosas de polvo/aire, y además tener un diseño adecuado para que el proceso de limpieza sea adecuado y permita la eliminación de todas las posibles capas de polvo.

d) Clasificación de las fuentes de ignición.

La clasificación de las fuentes de ignición se encuentra en el Anexo II



5.1.- Método cualitativo.

Extensión de las zonas para atmósferas explosivas pulverulentas.

La extensión de una zona para atmósferas explosivas pulverulentas se define como la distancia en todas las direcciones, desde el borde de una fuente de escape de polvo hasta el punto en donde el riesgo asociado a esta zona está considerado como inexistente. Se debería tener en consideración el hecho de que el polvo fino puede elevarse desde una fuente de escape por el movimiento de aire dentro de un edificio y fuera de él. Cuando en la clasificación se presenten pequeños emplazamientos no peligrosos entre emplazamientos peligrosos, la clasificación debería extenderse a toda el área.

Zona 20

La extensión de la zona 20 incluye el interior de los conductos y de los equipos de producción y tratamiento, en los que la mezcla explosiva de polvo y aire están continuamente presentes durante largos períodos de tiempo o frecuentemente. Es importante la apreciación de aire. Normalmente no se dan esas condiciones. La cantidad de aire es tan pequeña respecto al combustible que no se alcanza el LIE.

Las condiciones que conducen a una zona 20 están prohibidas en los lugares de trabajo.

Zona 21

En la mayor parte de los casos, la extensión de la zona 21 puede definirse evaluando las fuentes de escape, causa de mezclas explosivas de polvo/aire, con respecto al entorno.

La extensión de la zona 21 incluye el interior de los equipos que procesan ciertos polvos en los que es probable la presencia de una mezcla explosiva polvo/aire. Por otro lado la extensión del emplazamiento fuera de los equipos que contienen una fuente de escape depende también de varios parámetros relativos al polvo, tales como las cantidades, el caudal, el tamaño de las partículas y el contenido de humedad del producto. **Esta zona debería solamente ser una pequeña extensión. Habitualmente, es suficiente una distancia de 1 m alrededor de la fuente de escape (con una extensión vertical en dirección al suelo o al nivel de un piso sólido).** Cuando la difusión de polvo esté limitada por las estructuras mecánicas, sus superficies pueden tomarse como límites de zona.

Zona 22

En la mayor parte de los casos, la extensión de la zona 22 puede definirse evaluando las fuentes de escape, causa de mezclas explosivas de polvo/aire, con respecto al entorno.

La extensión de un emplazamiento, debido a una fuente de escape, depende también de diferentes parámetros relativos al polvo tales como la cantidad de polvo, el caudal, el tamaño de las partículas y el contenido de humedad del producto. **Habitualmente es suficiente un área de 1 m más allá de la zona 21 y alrededor de la fuente de escape.** En el caso de emplazamientos exteriores a los edificios, la frontera de la zona 22 puede ser reducida debido a los efectos meteorológicos como lluvia, viento etc. Cuando la difusión de polvo está limitada por estructuras mecánicas, sus superficies puede ser tomadas como límites de zona.

5.2.- Método cuantitativo.

Debido a que como ya hemos dicho, las normas UNE no indican ningún método matemático para determinar la extensión de zonas debemos acudir a normas o guías técnicas de reconocido prestigio para justificar la extensión de zonas.

Así en este manual nos basamos en la guía técnica **CEI 31-56** del Comité Eléctrico Italiano, el cual gracias a un análisis detallado de todos los parámetros que intervienen en la clasificación de zona con riesgo de incendio y explosión debido a polvos combustibles, nos sirve de ayuda para justificar nuestra elección de la extensión de zona peligrosa.

Esta guía técnica **CEI 31-56** se basa en la norma **EN 50281-3** y la desarrolla para determinar con todos los parámetros posibles la determinación de la extensión de zonas.

Los parámetros que utiliza para determinar la extensión de zonas son los siguientes:

- Presión interna del sistema de contención del polvo.
- Altura de la fuente de emisión.
- Caudal de emisión.
- Humedad del polvo combustible.
- Tipo de ambiente (cerrado o abierto).
- Velocidad de sedimentación del polvo.
- Velocidad del aire.
- Tamaño medio de las partículas.

Como puede apreciarse esta guía técnica utiliza ciertos parámetros que en principio las normas **UNE** no los tenía en cuenta pero sin embargo son necesarios para el cálculo de la extensión de zonas.

Por otra parte esta guía técnica **CEI 31-56** establece algunas acciones para la desclasificación de zonas, teniendo en cuenta unas determinadas características de continuidad del servicio de los mismos:

- Sistema de ventilación general.
- Sistemas de ventilación localizada en las proximidades de las fuentes de emisión.
- Sistema de contención de polvos en depresión.
- Eliminación de las capas de polvos presentes en el entorno.
- Inertización de la atmósfera peligrosa.
- Inertización de los polvos combustibles.
- Presurización del local clasificado.

Utilizando unos o varios métodos de los señalados podemos definir el local como zona no clasificada o no peligrosa.

Extensión de las zonas para atmósferas explosivas pulverulentas.

Se resume a continuación el procedimiento seguido para la clasificación de zonas con riesgo de incendio y explosión debido a polvos combustibles:

Se entiende por atmósfera de polvo explosivo como aquella mezcla de aire, en condiciones atmosféricas, con sustancias inflamables bajo la forma de polvo o de fibras en las que, después de su ignición, la combustión se propaga al resto de la mezcla no quemada.

Se deberán clasificar como **zona 20, 21 ó 22** los lugares en el que el polvo combustible está, o puede preverse su presencia, bajo la forma de nube o de capa, en cantidades tales que sea necesario tomar precauciones específicas para la construcción y la utilización de materiales eléctricos para evitar la ignición de una mezcla de polvo/aire explosiva o de una capa de polvo combustible.

En la mayoría de los casos, una capa de polvo contiene suficiente polvo como para crear mezclas explosivas de polvo/aire. Todos los lugares en las que se forman capas de polvo con espesor suficiente y en las que, debido a operaciones del proceso, se pueden remover para constituir mezclas explosivas de polvo/aire el lugar, por lo tanto, debe clasificarse.

Otro de los riesgos que posee las capas de polvo son el de producir un incendio debido a que se depositan sobre equipos o aparatos eléctricos susceptibles de que la cubierta alcance una temperatura tan elevada que pueda producir la ignición del polvo en capa.

Se debería tener en cuenta el hecho de que con el tiempo, es igualmente posible la formación de capas de polvo peligrosas a partir de nubes de polvo muy diluidas.

El lugar se clasificará como seguro solamente si la capa se elimina por medio de limpieza, antes de que se pudieran formar mezclas peligrosas de polvo/aire, y además tener un diseño adecuado para que el proceso de limpieza sea adecuado y permita la eliminación de todas las posibles capas de polvo.

En función de la frecuencia de las perturbaciones se clasificarán las zonas donde existan capas como **zona 21** si las perturbaciones son frecuentes o **zona 22** si las perturbaciones son ocasionales

Cálculo

Debido a que como ya hemos dicho, las normas UNE no indican ningún método matemático para determinar la extensión de zonas debemos acudir a normas o guías técnicas de reconocido prestigio para justificar la extensión de zonas.

Así en este manual nos basamos en la guía técnica **CEI 31-56** del Comité Eléctrico Italiano, el cual gracias a un análisis detallado de todos los parámetros que intervienen en la clasificación de zona con riesgo de incendio y explosión debido a polvos combustibles, nos sirve de ayuda para justificar nuestra elección de la extensión de zona peligrosa.

Esta guía técnica **CEI 31-56** se basa en la norma **EN 50281-3** y la desarrolla para determinar con todos los parámetros posibles la determinación de la extensión de zonas.

Como puede apreciarse esta guía técnica utiliza ciertos parámetros que en principio las normas UNE no tenía en cuenta pero sin embargo condicionan la extensión de las zonas.

Por lo tanto podemos calcular la extensión de las zonas utilizando por una parte la recomendación de la norma UNE si se justifica que en el proceso industrial los parámetros que afectan a la extensión están dentro de unos límites “normales”.

Y por otra parte podemos analizar la extensión de zonas utilizando el método matemático recomendado por la guía **CEI 31-56** del **CEI** ya recomendada en algunas CC.AA.

La extensión de zonas según la guía técnica CEI 31-56. La guía técnica se basa en las indicaciones de las normas UNE, pero amplía el concepto de **normalidad** para decidir si se debe extender las zonas **1 m.** alrededor de la fuente de emisión:

Las zonas 20 se extienden al interior de los recipientes contenedores de polvo o granos siempre y cuando en su interior se pueda formar una atmósfera explosiva pulverulenta.

La extensión de la zona 21 se produce por una fuente de escape de grado primario se extiende en condiciones de normalidad 1 m alrededor del perímetro de la fuente (tal como una boca abierta) y se debe extender verticalmente hasta el suelo o hasta el nivel de una plataforma sólida; además hay que recordar lo que se ha visto en el apartado 3º, capas de polvo. Si una fuente de grado primario posee extracción localizada podría pasar a zona 22. Si no se cumplen las condiciones de normalidad se debe de aplicar la fórmula matemática para determinar la extensión de zona, que se indica posteriormente.

La zona 22 en general, se generará por una fuente de grado secundario y se extenderá en condiciones de normalidad horizontalmente una amplitud de 1 m. alrededor de la fuente de escape y se debe extender verticalmente hasta el suelo, o hasta el nivel de una plataforma sólida. Si no se cumplen las condiciones de normalidad se debe de aplicar la fórmula matemática para determinar la extensión de zona.

La extensión de zonas se podría considerar despreciable cuando:

- Para la zona 20 < 1 dm³.
- Para la zona 21 < 10 dm³.
- Para la zona 22 < 100 dm³.

Cuando algunas de las variables que intervienen en la extensión de zonas como la presión interna del sistema de contención, la velocidad del aire, el tipo de ambiente, el caudal de emisión etc. son superiores a los parámetros indicados anteriormente, no se considera condición de normalidad y la extensión de zonas ya no es 1 m. y se calculará utilizando la siguiente fórmula para determinar la extensión de zonas.

$$dz=(d_0+dh).(K_d.K_u.K_{ta}.K_w)$$

Donde:

dz: Extensión de zonas en m.

d₀: distancia de referencia m.

dh: distancia en función de la altura de la fuente de emisión m.

K_d: Coeficiente que depende de varios factores como el LIE y del caudal.

K_u: coeficiente relativo al contenido de humedad del polvo.

K_{ta}: coeficiente relativo al tipo de ambiente, cerrado o abierto.

K_w: coeficiente que depende de la velocidad del aire y de la velocidad de sedimentación.

A continuación se explica el cálculo de cada uno de ellos y su aportación a la extensión de zonas:

d₀: distancia de referencia m

Esta distancia de referencia depende de la **presión interna** del contenedor del polvo. Si el contenedor tiene presión atmosférica o la acción generadora de polvo combustible se realiza a presión atmosférica, este valor será 1 m.

Sin embargo si el contenedor posee una **presión superior a la atmosférica** el valor aumentará dependiendo del diámetro medio de la partícula de la densidad del polvo y de la velocidad del aire según las siguientes gráficas:



Figura 25. Gráficas para el hallar el valor de d_0

dh: distancia en función de la altura de la fuente de emisión m.

Cuando la altura de la fuente de emisión al suelo no es inferior a 3 metros la distancia de referencia d0 se debe aumentar en función de la siguiente tabla:

Condición Altura fuente de emisión	dh en m.
$h > 20\text{m}$	1,0
$20 > h > 3$	0,5
$h < 3$	0

Tabla 8. Valores de dh

Kd: Coeficiente que depende de varios factores como el LIE y del caudal

El coeficiente Kd depende de varios factores, límite inferior de Explosividad, velocidad de sedimentación, distancia de referencia y caudal de emisión según la regla siguiente:

Condición	Kd
$\frac{LIE \cdot 10^{-3} \cdot U_t \cdot d_0^2}{2 \cdot Q_d} > 10$	0,5
$\frac{LIE \cdot 10^{-3} \cdot U_t \cdot d_0^2}{2 \cdot Q_d} \leq 10$	1

Tabla 9. Valores del coeficiente Kd

NOTA: Se trata de un factor reductor de la distancia o extensión de zona, lo que significa que si no realizamos los cálculos indicados por ejemplo por no conocer los datos de la sustancia del polvo, podemos tomar el valor de Kd como 1 estando en el lado de la seguridad.

Siendo:

LEL: límite inferior de explosión. g/m3

Ut: velocidad de sedimentación. m/s.

d0: distancia de referencia de la norma m.

Qd: cantidad o caudal de emisión. Kg/s.

La velocidad de sedimentación se puede calcular de la siguiente forma:

$$u_t = \frac{\rho \cdot ((d_m \cdot 10^{-6})^2) \cdot g}{18 \cdot \mu} \left(\frac{m}{s} \right)$$

Donde:

Ut: velocidad de sedimentación m/s.

ρ : densidad del polvo Kg/m³.

Dm: diámetro medio de las partículas. Micrómetros.

G: aceleración de la gravedad 9,81 m/s².

M: coeficiente de viscosidad dinámica del aire 1,8 10⁻⁵ Ns/m².

El cálculo del caudal de emisión **Qd** es complicado. Mientras en los gases el cálculo de esta tasa se utiliza fórmula de mecánica de fluidos cuando se trata de polvos combustibles no se pueden utilizar ninguna fórmula matemática por lo que se utiliza una aproximación del caudal de emisión.

En general la determinación de la tasa de emisión se basa en la experiencia práctica y sobre las consideraciones de orden práctico de rapidez en la intervención en caso de avería.

En los casos que no se pueda realizar el cálculo de la tasa de emisión se puede determinar de forma aproximada refiriéndose a lo indicado en la siguiente tabla en función de la consideración del técnico proyectista, en función del caudal total **Pp** del proceso origen de emisión.

Valoración de la fuente de emisión. Q _d	Estimación de la fuente de emisión. Q _d
Grande	30% del caudal total P _p
Mediano	5% del caudal total P _p
Bajo	1% del caudal total P _p

Tabla 10. Estimación de Q_d

Ku: coeficiente relativo al contenido de humedad del polvo.

Para determinar el coeficiente relativo al contenido de humedad del polvo se puede utilizar la siguiente tabla:

Contenido de humedad del polvo %	Intervalo del valor del coeficiente	Coeficiente K_u
Del 40% al 50%	Entre 0,3 y 0,5	0,3
Del 12% al 40%	Entre el 0,5 y el 1,0	0,8
Inferior al 12%	Entre el 1 y 1,2	1,0

Tabla 11. Valores del coeficiente K_u

Kta: coeficiente relativo al tipo de ambiente, cerrado o abierto

Para determinar el coeficiente relativo al tipo de ambiente, cerrado o abierto se puede utilizar la siguiente tabla:

Tipo de ambiente	Intervalo del valor del coeficiente	Coeficiente K_{ta}
Abierto	Entre 0,5 y 0,7	0,5
Abierto con obstáculos	Entre el 0,7 y el 1,0	0,8
Cerrado	Entre el 1 y 1,2	1,0

Tabla 12. Valores del coeficiente K_{ta}

Kw: coeficiente que depende de la velocidad del aire y de la velocidad de sedimentación

Para determinar el coeficiente que depende de la velocidad del aire y de la velocidad de cimentación se puede utilizar la siguiente tabla:

Condición	Factor multiplicativo K_w
$\frac{w}{U_t} > 5$	3
$\frac{w}{U_t} > 3$	2
$\frac{w}{U_t} \leq 3$	1

Tabla 13. Valores del coeficiente K_w

Nota: Es el factor que más contribuye a la extensión de zonas, por ello si no conocemos los datos de la sustancia que origina el polvo, podemos tomar como factor K_w el más restrictivo o mayor, que será el de 3.

Las tablas de resultados se encuentran en el anexo III.

Por otro lado se encuentra en el anexo I el plano de clasificación de áreas peligrosas de la planta de clasificación de coque.

6.- Presentación de resultados para el método cuantitativo.

La presentación de resultados se encuentra en el anexo III.

7.- Medidas de protección contra explosiones

Si existe la posibilidad de que se forme una atmósfera explosiva peligrosa, es necesario adoptar medidas de carácter técnico y/u organizativo que limiten las explosiones.

Con el objetivo de disminuir la formación de atmósferas explosivas, limitar el número y extensión de las zonas peligrosas (zonas 20 y 21) y a ser posible desclasificar zonas, se realizan una serie de medidas preventivas en los lugares de trabajo, sistemas de transporte y almacenamiento de sustancias pulverulentas.

En primer lugar, debe intentarse prevenir la aparición de una atmósfera explosiva.

Cuando no sea posible excluir por entero la formación de atmósferas explosivas peligrosas, deberán adoptarse medidas para evitar las fuentes de ignición efectivas.

De no ser altamente improbable la aparición simultánea de atmósferas explosivas peligrosas y de fuentes de ignición efectivas, también se requerirán medidas de protección que reduzcan el impacto de una posible explosión.

Una vez fijada la clasificación de áreas no se puede realizar ninguna alteración en las condiciones definidas sin el conocimiento del responsable de la instalación. Las medidas de prevención pueden ser tanto técnicas como organizativas

Estas medidas de carácter técnico y/u organizativo se revisarán periódicamente y, en cualquier caso, siempre que se produzcan cambios significativos.

7.1.- Medidas técnicas.

La prevención consiste en impedir la formación de atmósferas explosivas y evitar la ignición de las mismas.
Son aquellas medidas que:

- Impiden la formación de atmósferas explosivas peligrosas,
- Evitan la ignición de atmósferas explosivas peligrosas o
- Atenúan los efectos de explosiones hasta asegurar la salud y seguridad de los trabajadores.

A) Prevención de atmósferas explosivas.

Las intervenciones capaces de impedir o limitar la formación de atmósferas explosivas son las siguientes:

- Sustitución de las sustancias inflamables

La formación de atmósferas explosivas peligrosas puede prevenirse evitando o reduciendo el uso de sustancias inflamables.

En la mayoría de los casos y de los procesos industriales esto no es posible por lo que hay que tomar otro tipo de medidas

-Limitación de la concentración

Los gases y polvos sólo tienen capacidad de explosión dentro de ciertos límites de concentración en mezcla con aire.

En determinadas condiciones operativas y ambientales es posible mantenerse fuera de estos límites de explosividad. En este caso, no habrá riesgo de explosión si se garantiza el cumplimiento seguro de estas condiciones.

En recipientes e instalaciones cerradas suele resultar relativamente fácil mantener la concentración de sustancias inflamables fuera de los límites de explosividad.

- Inertización

La formación de atmósferas explosivas peligrosas puede evitarse diluyendo el oxígeno del aire en el interior de instalaciones o el combustible con sustancias que no sean químicamente reactivas (sustancias inertes), lo que se denomina inertización.

Aspectos a tener en cuenta para el dimensionado de esta medida de seguridad:

- Conocer la concentración máxima de oxígeno o la concentración máxima admisible de combustible.

- Prever un margen de seguridad amplio, si existe la posibilidad de que la concentración de oxígeno varíe con rapidez o difiera mucho en distintas partes de la instalación.

- Considerar los posibles fallos de manipulación y defectos en los equipos.

- Considerar el lapso de tiempo necesario para que surtan efecto las medidas de protección o las funciones de emergencia tras su accionamiento.

A.1.- Prevención o reducción de la formación de atmósferas explosivas pulverulentas

En el caso de sustancias pulverulentas, las actuaciones capaces de disminuir la probabilidad de atmósferas explosivas son las siguientes:

- Eliminación de las capas de polvo combustible presentes en el recinto
- Extracción continua de los polvos combustibles emitidos por cada fuente de escape
- Intertización de los polvos combustibles mediante adición de gases, vapor de agua y sustancias en polvo inertes.
- Intertización de la atmósfera en el recinto (son compartimentos o equipos cerrados).
- Retención por depresión de los polvos combustibles.

Como se puede comprobar no se ha incluido la ventilación entre las medidas de prevención de atmósferas explosivas pulverulentas. La ventilación juega un papel importante en la clasificación de zonas para gases y vapores, pero no en el caso de polvos ya que en estos casos puede provocar la puesta en suspensión de polvo acumulado en las áreas de trabajo, aumentando el riesgo de explosión.

Limpieza

Pueden preverse intervenciones capaces de disminuir la probabilidad de formación de atmósfera explosiva para todos los polvos liberados en el recinto, o sólo para eliminar o neutralizar los polvos liberados en determinadas condiciones o por cada fuente de escape.

Generalmente, se consideran limpios los recintos en los que los polvos combustibles dispersados en aire se mantienen con una concentración inferior al LIE, con un discreto margen de seguridad, y las capas de polvo se mantienen con un espesor despreciable teniendo en cuenta todas las fuentes de escape y las posibles condiciones de escape.

Se incluyen también entre los recintos limpios aquellos en los que se toman las condiciones anteriores para proteger a las personas contra la toxicidad de los polvos sin recurrir a las medidas de protección individual.

Las medidas de limpieza, por su naturaleza y/o por la manera con la que se realizan y mantienen, deben considerarse con una disponibilidad *buena o adecuada*, es decir funcionando con continuidad en la práctica, o por lo menos durante el funcionamiento normal durante todo el tiempo en que se puede liberar en el recinto

polvo combustible. Se admiten algunas interrupciones con tal que sean poco frecuentes y por cortos periodos de tiempo.

Los procedimientos de limpieza pueden ser diversos:

- Extracción continua de los polvos combustibles dispersados en el aire mediante sistemas de renovación del aire del recinto. Este procedimiento no es aplicable en nuestra unidad.
- Extracción de los polvos combustibles emitidos por cada fuente de escape. Aplicaremos este procedimiento en las zonas próximas a las tolvas.
- Retención por depresión de los polvos combustibles. No es aplicable en el caso de nuestro estudio.
- Eliminación de las capas de polvo combustible presentes en el recinto. Se aplicará en las zonas próximas a las cintas y de carga a los camiones.
- Presurización de los locales o edificios. No es aplicable en el caso de nuestro estudio.

La frecuencia de la limpieza, en sí misma, no es suficiente para determinar si una capa contiene una cantidad suficiente de polvo para controlar los riesgos asociados a ésta. La tasa de depósito del polvo tiene diferentes efectos, por ejemplo, una fuente de escape de grado secundario, con una alta tasa de depósito, puede crear una capa peligrosa mucho más rápidamente que una fuente de escape de grado primario, con una tasa de depósito menor. Tanto la frecuencia como la eficacia de la limpieza son importantes.

Por lo tanto, la presencia y la duración de una capa de polvo dependen:

- del grado de liberación de la fuente de polvo
- de la tasa a la que el polvo se deposita
- de la eficacia del mantenimiento (limpieza)

Se pueden describir tres niveles de limpieza:

- **Bueno:** quedan capas de polvo de un espesor sin importancia o bien son inexistentes, cualquiera que sea el grado de la fuente de escape. En este caso, se elimina el riesgo de que se originen nubes explosivas de polvo a partir de las capas y el riesgo de incendio debido a las capas.
- **Medio:** las capas de polvo no son insignificantes pero tienen una vida corta (menos que la duración de un turno de trabajo). El polvo se retira antes de que comience cualquier incendio.

- **Malo:** las capas de polvo no son insignificantes y persisten durante más tiempo que la duración de un turno de trabajo. El riesgo de incendio puede ser importante y se debería controlar, seleccionando el equipo de acuerdo con la Norma IEC 60079-14

Se debería evitar una mala limpieza combinada con condiciones que puedan crear una nube de polvo a partir de una capa. Todas las condiciones que puedan crear una nube de polvo (por ejemplo, alguien entrando en la sala) deben tenerse en cuenta.

Inertización

La eficacia de los sistemas de Inertización de polvos combustibles para evitar su dispersión en el ambiente depende de su disponibilidad y de sus características.

Los procedimientos de Inertización pueden ser de diversa naturaleza por ejemplo:

- Aumento del tamaño de las partículas (por ejemplo $> 500 \mu\text{m}$) (utilizado en la Refinería en las plantas de Azufre).
- Empleo de productos pastosos como sustitutivos de los polvos.
- Humidificación de los polvos. Esto es muy efectivo en el caso del coque verde ya que admite la humedad.
La humidificación de los polvos con agua reduce la posibilidad de que se disperse en el aire y forme una atmósfera explosiva. En este caso no existe peligro de explosiones secundarias, mientras que permanece el peligro de inflamación en capa.
La humidificación se realiza con sistemas de pulverización de agua, también denominados de niebla seca. Estos dispositivos sirven para controlar las emisiones fugitivas de polvo provenientes de puntos de transferencia de material como las tolvas y cintas.
- Mezcla con otros polvos inertes que no son combustibles o que actúan como inhibidores de la explosión. La mezcla con polvos inertes tiene una aplicación especial práctica donde la mezcla entre el polvo combustible y el polvo inerte es compatible con el proceso de fabricación. En nuestro proceso no se utiliza.

B) Prevención de las fuentes de ignición.

Cuando la formación de una atmósfera explosiva peligrosa no pueda impedirse, hay que prevenir su ignición.

La prevención de la ignición de una atmósfera explosiva puede conseguirse con medidas de protección que evitan o reducen la probabilidad de aparición de dichas fuentes de ignición.

Para valorar el alcance de las medidas de protección, las áreas de riesgo deben clasificarse en zonas en función de la probabilidad de que una atmósfera explosiva peligrosa coincida en el tiempo y en el espacio con una fuente de ignición.

Para determinar las medidas de protección eficaces deben conocerse los diferentes tipos de fuentes de ignición y su modo de activación.

Entre las diferentes medidas se encuentran:

- **Circulación de vehículos:** en el caso en que esto no se pueda evitar, deberán circular con medidas que eviten la emisión de chispas o gases calientes.
- **Superficies calientes:** se deben establecer las temperaturas máximas superficiales $T_{m\acute{a}x}$ de los equipos considerando la temperatura más restrictiva entre la temperatura de inflamación de la nube $TMIn$ y la temperatura de inflamación del polvo en capa $TMlc$.
 - La temperatura máxima $T_{m\acute{a}x}$ superficial de los equipos en lugares con presencia de nube de polvo exclusivamente debe ser $T_{m\acute{a}x} \leq 2/3 TMIn$.
 - Para emplazamientos con presencia de depósitos de polvo en capa exclusivamente, la $T_{m\acute{a}x}$ no debe superar el valor establecido por la aplicación de las Reglas recogidas en el anexo B de la Norma UNE-EN 61241-10:2004 que se refieren a la temperatura de inflamación de la capa de polvo $TMlc$ (280° C para el polvo en capa). En nuestras instalaciones no se alcanzará dicha temperatura en ningún equipo por lo que el riesgo debido a las superficies calientes no existe o existirá en unas condiciones de no normalidad.
- **Llamas abiertas:** se eliminarán en todos los casos en que haya riesgo de atmósfera explosiva. Las posibles llamas abiertas debidas a procesos de soldadura se impiden y controlan mediante medidas organizativas.
- **Ropa antiestática:** Para evitar la generación y/o acumulación de cargas electrostáticas la clave está en propiciar la disipación de las cargas. Esto se puede lograr mediante alguna de las siguientes operaciones:
Existen dos tipos de calzado para conectar a las personas a tierra, evitando que se carguen electrostáticamente: calzado antiestático y calzado conductor:

El **calzado antiestático** tiene un límite superior y otro inferior de resistencia. El límite superior es lo suficientemente bajo como para evitar la acumulación de carga electrostática en la mayoría de las situaciones y el límite inferior ofrece cierta protección en el caso de contacto eléctrico accidental.

El calzado antiestático se debe utilizar cuando es necesario minimizar la acumulación electrostática mediante la disipación de las cargas pero no existe riesgo por choque eléctrico, ya que éste no se elimina completamente. Este tipo de calzado es adecuado para uso general.

El **calzado conductor** tiene una resistencia muy baja y se utiliza cuando es necesario minimizar la carga electrostática en el menor tiempo posible (por ejemplo, cuando se manipulan sustancias con energía mínima de ignición muy baja). Este tipo de calzado no debe llevarse cuando exista riesgo de contacto eléctrico accidental y no es adecuado para uso general.

Durante el uso, la resistencia eléctrica del calzado fabricado con material conductor o antiestático puede cambiar significativamente debido a aspectos como, por ejemplo, la flexión, la contaminación por suciedad y la humedad. Es necesario asegurarse de que el equipo es capaz de cumplir con su función de disipación de carga electrostática durante toda su vida. Por ello se recomienda al usuario establecer un programa regular de ensayo de resistencia eléctrica del calzado.

No debe introducirse ningún elemento aislante, con excepción de un calcetín normal, entre la plantilla del calzado y el pie del usuario. Si se introduce cualquier elemento entre la plantilla y el pie, deberían comprobarse las propiedades eléctricas de la combinación introducida.

Cuando se use calzado conductor o antiestático, la resistencia del suelo debe ser tal que no anule la protección ofrecida por el calzado.

Las normas técnicas armonizadas, UNE-EN ISO 20345, UNE-EN ISO 20346 y UNE-EN ISO 20347, utilizadas habitualmente en la certificación del calzado antiestático y calzado conductor son normas generales que presentan, como posible requisito adicional para aplicaciones especiales, el calzado antiestático y el calzado conductor, entre otros. Establecen para el calzado antiestático unos límites de resistencia entre 105Ω y 109Ω , y para el calzado conductor un límite superior de 105Ω , (medidos, en ambos casos, según UNE-EN ISO 20344). Irán identificados en el marcado con un símbolo: **C** en el caso de calzado conductor y **A** en el caso de calzado antiestático.

Símbolo/Categoría	Calzado de seguridad UNE-EN ISO 20345	Calzado de protección UNE-EN ISO 20346	Calzado de trabajo UNE-EN ISO 20347
Conductor	C	C	C
Antiestático	A S1,S2,S3,S4,S5	A AP1,P2,P3,P4,P5	A AO1,O2,O3,O4,O5

Tabla 14. Símbolos y categorías para el marcado de ropa y calzado

La ropa debe ser de algodón. No pueden utilizarse fibras que se puedan cargar electrostáticamente. Todas las características vienen reflejadas en una norma UNE para ropa.

- **Chispas de origen mecánico:** la posibilidad de generación de chispas en máquinas instaladas podría originarse por fricción o choque entre las partes móviles y fijas. En el caso de gripado o bloqueo del eje, las protecciones de la parte motriz disparan la máquina.
- **Equipos especiales de clasificación ATEX.**

Clasificación	Las fuentes de ignición deben prevenirse de manera segura en caso de:
0 ó 20	<ul style="list-style-type: none">- funcionamiento sin avería (condiciones de explotación normales),- averías previsibles y- averías raras
1 ó 21	<ul style="list-style-type: none">- funcionamiento sin avería (condiciones de explotación normales) y- averías previsibles
2 ó 22	<ul style="list-style-type: none">- funcionamiento sin avería (condiciones de explotación normales)

Tabla 15. Alcance de las medidas de prevención

C) Limitación de los efectos de las explosiones.

En el caso en que no se pueda garantizar la imposibilidad de que puedan coincidir en un lugar una atmósfera explosiva con una fuente de ignición, junto con las medidas preventivas, será necesario prever medidas adicionales que entren en funcionamiento una vez se haya producido una ignición.

La combinación de medidas preventivas con otras medidas adicionales que limitan los efectos nefastos de las explosiones para los trabajadores permite alcanzar el máximo nivel posible de seguridad.

Estas medidas se conciben para limitar los efectos peligrosos de explosiones originadas en el interior de las instalaciones.

En el caso de la detonación, salvo para gases y líquidos en tuberías, no se pueden disponer de elementos que limiten sus consecuencias en el caso de producirse, ya que no se dispone del tiempo de respuesta adecuado, necesario en todo momento de protección, además de que las presiones que genera son mucho más elevadas.

A la hora de aplicar medidas de protección frente a explosiones en equipos e instalaciones, es necesario determinar previamente unos puntos básicos para definir qué sistema es posible aplicar, siendo los datos más corrientemente requeridos los siguientes:

- Severidad de la explosión, es decir la velocidad máxima con que se incrementa la presión y la presión máxima alcanzable.
 - Concentración mínima que se requiere para que se produzca la explosión.
 - Concentración mínima de oxígeno requerida.
 - Mínima energía requerida para que se produzca la ignición.
- Figuran entre tales medidas de protección frente a explosiones:
- venteo o alivio de la presión;
 - supresión de la explosión;
 - prevención de la propagación de las llamas y de la explosión (aislamiento e interrupción de la explosión).

Pueden adoptarse asimismo medidas estructurales como, por ejemplo, muros antideflagración.

Al determinar las medidas de protección constructiva se deberán optar por aparatos y sistemas de seguridad que corresponden a los requisitos del R.D. 400/1996.

- Sistema de venteo o alivio por presión.



Figura 26. Ilustración de un sistema de venteo por presión

El sistema de venteo comprende en sentido amplio todo aquello que, durante la formación o tras cierto desarrollo de una explosión, sirve para abrir momentánea o

permanentemente hacia una dirección segura la instalación inicialmente cerrada en la que se lleva a cabo la explosión si se alcanza la presión de respuesta de un dispositivo de descarga.

Es un método de protección basado en la apertura de unos paramentos débiles en las paredes de una planta o equipo al principio del desarrollo de una explosión, de forma que la fuerza principal de la explosión se disipa en el aire y el aumento de presión se limita a un nivel aceptable.

El sistema de venteo o alivio de la presión que se genera durante la explosión tiene por objeto limitar su crecimiento a valores inferiores a la de diseño de la instalación o el equipo, es decir, impedir que la instalación o el equipo se vea solicitado más allá de su resistencia a la explosión.

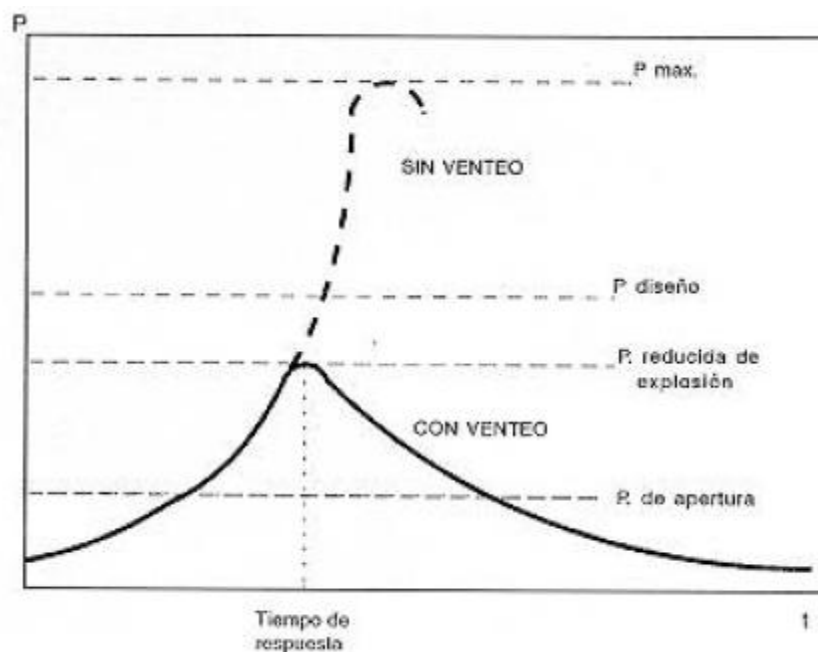


Figura 27. Variación de la explosión con y sin venteo

El venteo o alivio de presión, prácticamente, se realiza disponiendo en los equipos membranas ligeras (paneles de ruptura), con una presión de ruptura predeterminada, las cuales son capaces de actuar casi instantáneamente, de forma predecible y sin resistencia frente a la presión.



Figura 28. Panel de venteo

Tipos de paramentos débiles de venteo, empleados para el venteo de equipos de proceso y de locales de trabajo:

- Panel ligero pero rígido,
- Paneles de ruptura,
- Puertas de explosión con bisagras,
- Venteos reversibles.

Ventajas que presentan los paneles o membranas de ruptura:

- Indicadores de ruptura del panel y posibilidad de conexión a otros sistemas de seguridad del proceso.
- Conexión a tierra, en prevención de la electricidad estática.
- Aislamiento, para aquellas instalaciones que estén aisladas térmicamente, y con ello evitar la pérdida de calor y la condensación.
- Aplicaciones higiénicas en alimentación y farmacia.

Si se aplica la medida de protección “*venteo o alivio de presión*”, es necesario asegurar que las partes de instalación situadas en los tramos anteriores y posteriores se desconecten en caso de explosión. Estos sistemas deben ir completados mediante dispositivos pasivos de aislamiento de la explosión tales como válvulas rotativas, barreras de contención de explosiones o activos tales como inertización, activación de barreras químicas o válvulas de acción rápida.

En cuanto a la ubicación física del sistema de venteo, hay que tener en cuenta que en su funcionamiento no solo se efectúa el alivio de presión, sino que hay salida de quemados, inquemados y llamas, lo que puede ser origen de explosiones secundarias, razón por la cual la salida debe ser dirigida a una zona segura, lo cual puede condicionar su utilización.

El venteo se debe localizar de forma que evite lesiones al personal y minimice los efectos de incendio y de la onda de explosión.

El cálculo de las necesarias áreas de descarga para instalaciones presupone, entre otras cosas, conocer los parámetros de seguridad de la mezcla.

El venteo resulta inadecuado y no se debe usar si entraña la emisión de sustancias nocivas para las personas o para el medio ambiente (p. ej. sustancias tóxicas).

El accionamiento de los *dispositivos de venteo o alivio de explosiones* puede provocar efectos considerables en forma de llamas y presiones en la dirección de descarga.

El frente de llama debe tener un acceso libre y sin obstáculos hacia el venteo.

-Conductos de venteo

Son unas conducciones al exterior para evitar los efectos sobre las personas de los chorros de llama y la onda de choque que salen por el orificio de venteo. La sección transversal del conducto debe ser como mínimo la del área de venteo y se instalan entre el venteo y un lugar exento de peligros.

7.2.-Sistemas de detección, medición y mando para la protección y prevención contra explosiones.

7.2.1.- Sistema de supresión de la explosión

Un sistema de supresión de explosiones activo está diseñado para actuar, tras la detección de una combustión incipiente, descargando instantáneamente agentes extintores que apagan la reacción de combustión, evitando así el incremento de la presión en el interior de espacios o recintos industriales por encima de un valor predeterminado.

La limitación y confinamiento de la llama en los primeros estadios de la explosión, contribuye a evitar explosiones en aquellos recintos en los que se opera con equipos, dentro de los cuales es inevitable la deposición de polvo (ejemplos: molinos, quebrantadores, mezcladores, cintas transportadoras, silos, tolvas, elevadores de cangilones, transportadores neumáticos, filtros, ciclones y lechos de secado).

Esta protección hace extensiva su influencia al personal operativo que trabaja en estas áreas.

La técnica de los sistemas supresores de explosión resulta de indudable interés, si se considera que la presión máxima de explosión puede alcanzar valores de hasta 10 bar (manométricos), presiones éstas considerables desde el momento en que gran cantidad de silos no resisten presiones superiores a 0,4 bar.

Su instalación es especialmente útil en aquellos casos en los que el alivio de explosiones por venteo es impracticable, así como en aquellos otros en los que a la explosión en sí se asocian emisiones de gases/vapores/polvos tóxicos o peligrosos en general para el entorno, situaciones éstas que hacen improcedente la instalación de paramentos débiles de venteo.

Estos sistemas constan de un dispositivo sensor que detecta explosiones incipientes (con la colaboración de amplificadores especiales) y de unos extintores presurizados cuyas válvulas son activadas por el sistema sensor.

Esta activación provoca que el medio extintor se inyecte dentro del espacio a proteger y se disperse uniformemente en el intervalo de tiempo más corto posible.

Tal posibilidad reside, precisamente, en la existencia de este intervalo de tiempo, entre el comienzo de la deflagración y la formación de la presión destructora, intervalo éste en el que el sistema de supresión puede entrar en funcionamiento.

En caso de explosión, los dispositivos de supresión de explosiones actúan por inyección rápida de productos de extinción en recipientes e instalaciones para impedir que allí se alcance la presión máxima de explosión.
Su funcionamiento se desarrolla en tres etapas fundamentales:

-Detección:

Se consigue mediante componentes activados por la presión o luz, siendo las condiciones del proceso el que determinan el sistema más apropiado.

Debe ser automática, de forma que se produzca en el primer estadio de la explosión.

Los detectores deben ajustarse de forma que "sepan" discernir entre la presión inherente a la explosión en sí y la debida a otros factores o variables ajenos a aquélla en el ámbito de su funcionalidad.

Los detectores estáticos actúan al alcanzarse un nivel de presión estática prefijado, los dinámicos actúan con la variación de velocidad del aumento de presión.

En aquellos casos en los que la detección de presión no es posible (mezclas de aire y combustible no confinadas), se aprovecha la radiación emitida por toda explosión incipiente, empleándose tubos fotoeléctricos (ultravioletas) o células

fotoeléctricas (infrarrojos), con lo que el conjunto reacciona en milisegundos. Cuando por las características del material y equipo se requiere detección térmica, se utilizan termopares de alta velocidad de resolución.

-Iniciación:

Se envía una señal al sistema de control electrónico indicando que se ha detectado un proceso de combustión.

El sistema de control procesa la señal recibida e inicia la secuencia de apertura del recipiente que contiene el agente extintor.

-Supresión:

Esta etapa la desarrolla el propio detector, junto con el extintor, desencadenándose la rápida difusión del agente extintor a un ritmo más rápido que la propagación de la llama, bien aprovechando la propia fuerza de la explosión, bien mediante la descarga electroexplosiva de un agente sobrepresurizado, con lo que la llama se extingue antes de que los incrementos de presión y temperatura puedan ser destructivos.

Los supresores se instalan dentro de los equipos: tanques, recipientes de procesos químicos, sistemas de recuperación de vapores inflamables, equipos que manipulen o almacenen polvos combustibles, etc., utilizándose los de diseño cilíndrico siempre que se requiera una dispersión uniforme en el interior de aquéllos.

El mecanismo de la supresión en sí es una inhibición química acompañada de enfriamiento, inertización o sofocamiento.

El agente supresor puede ser un líquido vaporizable con el proceso de combustión en cuestión, un producto químico seco o una combinación de los dos anteriores.

Estos sistemas utilizan como agente supresor y en orden decreciente de eficacia: polvo, agua, soluciones de agente humectante, agua con glicerina cuando resulta preciso protección anticongelante y halones 1211 y 1301.

La detección y control del sistema se opera eléctricamente. Es apropiado disponer de un centro de energía suplementario (baterías), ante la eventualidad de un corte en el suministro de energía, a fin de que el sistema permanezca siempre operativo.

Los efectos de una explosión quedan limitados al interior del aparato, contrariamente a lo que ocurre en la descarga de la explosión. Según la ejecución del dispositivo, la sobrepresión por explosión puede reducirse a aproximadamente 0,2 bar.

La implantación de un dispositivo de supresión de explosiones no excluye que, en su caso, deba preverse también la desconexión de las partes de instalación situados en los tramos anteriores y posteriores.

Los dispositivos de supresión de explosiones deben ser controlados y marcados como sistemas de seguridad conforme al R.D. 400/1996.

7.2.2.-Aislamiento e interrupción de la explosión, “desconexión”

El objetivo de un sistema de aislamiento es evitar la propagación de la explosión a lo largo del proceso, limitar el efecto al equipo donde se inicio la explosión. Las explosiones se propagan a través de conducciones, y en todo proceso existen conducciones que intercomunican los equipos, o bien las conducciones pueden terminar en áreas de trabajo de personas.

En caso de producirse una explosión en una parte de la instalación, ésta puede propagarse hacia los tramos anteriores y posteriores y provocar allí otras explosiones.

Las presiones de explosión así generadas pueden rebasar ampliamente la presión máxima de explosión en condiciones normales, e incluso llegar a la destrucción de partes de instalación construidas para resistir a la presión de explosión o al choque de la presión de explosión.

Es importante limitar las explosiones posibles a partes de instalación aisladas. Se consigue con el aislamiento e interrupción de la explosión (desconexión) en caso de producirse ésta.

Dado el riesgo de obstrucción, los dispositivos apagallamas para gases, vapores y nieblas no son viables en presencia de polvos.

Los dispositivos que pueden utilizarse para prevenir la propagación de explosiones de polvo a través de tuberías de comunicación, instalaciones de transporte o similares, así como la salida de llamas de partes de instalaciones se explicarán a continuación.

Los sistemas de aislamiento se basan en evitar el avance de las llamas, existiendo varias técnicas para lograr dicho objetivo:

- **Sistemas mecánicos activos** (válvulas de aislamiento): diseñados para actuar tras la detección de una combustión en estado inicial por aislamiento mecánico de la misma, evitando así su propagación. Se puede realizar utilizando válvulas de compuerta con cierre instantáneo.
- **Sistemas de aislamiento químico**: se diferencian de los sistemas activos en que el progreso de las llamas es detenido mediante la descarga de un agente extintor, en lugar del cierre de una válvula.

Para la desconexión de partes de instalación se dispone, por ejemplo, de los sistemas siguientes:

- Aislamiento mecánico rápido
- Extinción de llamas en intersticios estrechos o mediante inyección de agentes extintores
- Detención de las llamas mediante fuerte contracorriente
- Intercepción hidráulica
- Compuertas.

7.2.3.-Dispositivos apagallamas para gases, vapores y nieblas

Pueden utilizarse dispositivos apagallamas:

- Para evitar que en una atmósfera explosiva puedan producirse una propagación de llamas, por ejemplo a través de tuberías, respiraderos y conductos de alimentación y evacuación que no estén llenos de líquido de manera permanentemente.
- Para impedir el retroceso de llamas desde el interior de un aparato hacia un área con riesgo de explosión.

El funcionamiento de los dispositivos apagallamas se basa esencialmente en uno o varios de los mecanismos siguientes:

- Extinción de llamas en intersticios y canales estrechos (p. ej. mallas, metales sinterizados);
- Detención de un frente de llamas mediante evacuación de las mezclas sin quemar a la velocidad pertinente (válvulas de alta velocidad);
- Detención de un frente de llamas mediante intercepción líquida (p. ej. mallas o cierres hidráulicos).

Barreras extintoras

En cuanto la explosión es reconocida por los detectores, los extintores inyectan en la tubería agentes extintores que sofocan las llamas.

Esto no tiene efecto alguno sobre la presión de explosión que se forma por delante de la barrera de extinción.

También es necesario calcular la resistencia de los conductos y aparatos situados en los tramos posteriores a la barrera habida cuenta de la presión previsible. El agente extintor debe adaptarse al tipo de polvo existente en cada caso.

Correderas de cierre instantáneo, compuertas de cierre rápido

La explosión que discurre por la tubería es reconocida por los detectores. Un mecanismo de accionamiento cierra la corredera o la compuerta en cuestión de milisegundos.

Válvula de cierre rápido (válvula de seguridad contra explosiones)

Si se rebasa cierta velocidad de flujo se cierra una válvula en la tubería. La velocidad de flujo requerida para el cierre de la válvula es la generada ya sea por la onda expansiva de la explosión ya sea por un flujo auxiliar controlado por el detector (p.ej. insuflación de nitrógeno sobre el cono de la válvula).

Las válvulas de cierre rápido conocidas hasta la fecha sólo pueden instalarse en tuberías posicionadas horizontalmente, y además sólo resultan apropiadas en tuberías con una carga de polvo relativamente escasa (p. ej. en instalaciones de filtrado: en el lado del aire purificado).

Válvulas rotativas

Las válvulas rotativas sólo pueden instalarse como barrera si está acreditada su estanqueidad a la transmisión de la llama interior y su resistencia a la carga por compresión en las condiciones de servicio previstas en cada caso.

En caso de explosión, el movimiento del rotor se debe detener automáticamente mediante un detector, al objeto de evitar la salida de productos en combustión.

Dispositivo desviador de la explosión

Un dispositivo desviador de la explosión consta de segmentos de tubería conectados entre sí a través de un trozo de tubería especial.

El cerramiento de la tubería frente a la atmósfera está dotado de un dispositivo de descarga (placa de recubrimiento o disco de ruptura).

La propagación de la explosión se evita invirtiendo la dirección de circulación con simultánea descompresión en el codo donde se produce el desvío, una vez abierto el dispositivo de descarga.

No siempre es posible impedir la propagación de una explosión de manera fiable mediante un dispositivo desviador, aunque sí se puede frenar el avance del frente de llamas de tal manera que en el tramo posterior de la tubería se produzca como máximo un lento arranque de la explosión.

Debe evitarse la proyección de fragmentos del dispositivo de descarga, p. ej. con una rejilla protectora.

La descarga debe efectuarse siempre hacia una dirección sin riesgo, y en ningún caso hacia zonas de trabajo o vías de tránsito.

Esta medida de seguridad no será viable si entraña la emisión de sustancias nocivas para las personas o el medio ambiente.

Obturación (producto utilizado como barrera)

Una barrera de altura suficiente formada por el propio producto (p. ej. en la boca de descarga de un silo), en conjunción con la medida de protección “venteo o alivio de la presión”, puede resultar apropiada para aislar partes de instalaciones.

La altura de apilado debe ser la suficiente, asegurada por un indicador de nivel, para que el producto resista la onda de choque de la explosión y las llamas no puedan atravesar esta barrera.

Corredera doble

Un sistema de doble corredera instalado en la boca de descarga de producto de aparatos resistentes a las explosiones puede detener la propagación de llamas por ese punto.

En tal caso, las correderas deben ofrecer como mínimo la misma resistencia que el aparato.

Con las maniobras de control pertinentes, debe asegurarse que alternativamente siempre haya una corredera cerrada.

Nota: Todos los dispositivos de desconexión sometidos al R.D. 400/1996 deben estar controlados como sistemas de protección conforme a los requisitos de éste y llevar la identificación correspondiente.

7.3.- Medidas organizativas.

Cuando en un lugar de trabajo exista un riesgo potencial de explosión, ello plantea también exigencias a la organización del trabajo. Deberán adoptarse medidas organizativas cuando las medidas técnicas no basten para garantizar y mantener la protección contra explosiones en el lugar de trabajo.

En la práctica, la seguridad del entorno de trabajo también podrá alcanzarse mediante la combinación de medidas técnicas y organizativas para la protección contra explosiones.

Mediante medidas organizativas las fases de trabajo se configuran de tal manera que no puedan exponer a los trabajadores a riesgos de explosión.

El mantenimiento de las medidas de protección técnicas mediante inspección, mantenimiento y reparación también debe quedar fijado mediante medidas organizativas.

Las medidas organizativas adoptadas para la protección contra explosiones deben documentarse en el documento de protección contra explosiones.

En el caso de la planta y campas de coque las medidas organizativas tomadas son:

- Formación e información de los trabajadores
- Elaboración de instrucciones de trabajo por escrito
- Aplicación de un sistema de “permisos de trabajo”

7.3.1.- Formación e información de los trabajadores

El empresario proporciona a los trabajadores una formación e información adecuadas y suficientes sobre los riesgos de explosión existentes en el lugar de trabajo y de las medidas de protección en caso de explosiones.

En esta formación e información de los trabajadores se explican los siguientes aspectos:

- Cómo y en qué puntos del lugar de trabajo surge el riesgo de explosión.
- Las medidas de protección contra las explosiones y su funcionamiento.
- La manipulación correcta de los equipos de trabajo disponibles.
- La ejecución segura de las tareas en *áreas de riesgo* o a proximidad de éstas.
- El significado de la posible señalización de las *áreas de riesgo*
- La indicación de los equipos móviles cuya utilización está autorizada en estas áreas.
- Los equipos de protección personal que deben utilizar durante el trabajo.

- Las instrucciones de servicio existentes.

La formación de los trabajadores se realiza en los momentos siguientes:

- Su contratación (antes de comenzar la actividad),
- Un traslado o una modificación de sus tareas,
- La introducción o modificación de equipos de trabajo,
- La introducción de una nueva tecnología.

La formación de los trabajadores debe efectuarse a intervalos apropiados, por ejemplo una vez al año.

La instrucción debe correr a cargo de una persona debidamente capacitada.

Debe documentarse por escrito la fecha, el contenido y los participantes en las acciones de instrucción.

7.3.2.- Instrucciones de trabajo

Las instrucciones de trabajo son disposiciones y normas de comportamiento vinculantes relacionadas con la actividad en las áreas de riesgo que el empresario da a los trabajadores por escrito, cuando así lo exija el documento de protección contra explosiones.

Las instrucciones de trabajo deberán estar recogidas por escrito cuando se traten de tareas críticas debido a la importancia de los riesgos, la complejidad del trabajo o bien a la ocasionalidad del mismo.

Las instrucciones de trabajo deben redactarse de tal modo que todo trabajador pueda comprender y aplicar su contenido.

Las instrucciones de trabajo relativas a una actividad y que describen riesgos diversos u obedecen a disposiciones legales diferentes pueden resumirse en una misma instrucción de servicio. Se consigue así un enfoque homogéneo de los riesgos.

Las instrucciones de trabajo en una empresa, se recomienda una presentación homogénea, a fin de aprovechar el efecto de reconocimiento.

En las instrucciones de trabajo se describen los peligros que el lugar de trabajo entraña para el trabajador y el medio ambiente, y se señalan las medidas protectoras adoptadas o de cumplimiento obligado.

Las instrucciones de trabajo para lugares de trabajo con riesgo de atmósfera explosiva también reflejan especialmente:

- Dónde existen qué riesgos,
- Dónde y cómo se autorizan qué equipos de trabajo móviles, y
- si es preciso utilizar algún equipo de protección personal.

Para las planta de coque existe una instrucción específica para el manejo de las cámaras de coque y el propio coque en el Pad. Para la planta de clasificado existen unas instrucciones específicas para la puesta en marcha y parada de los equipos y para

la toma de muestra. Estos documentos residen en un Sistema de Gestión de Documentación de forma que se garantiza la disponibilidad de la última versión de las mismas

7.3.3.- Autorización de trabajos

El procedimiento que autoriza la ejecución de trabajos se aplica:

- En trabajos dentro o a proximidad de un área de riesgo que pudieran dar lugar a una explosión,
- En procesos de trabajo que puedan plantear riesgos por solaparse con otros trabajos.

El procedimiento de “autorización de trabajo” se realiza mediante un formulario de autorización para trabajar que deben recibir y firmar todos los participantes.

Las autorizaciones de trabajo son expedidas por el jefe del equipo de Operación.

Las autorizaciones de trabajo deberán ser expedidas antes del comienzo de los trabajos.

El tiempo de validez de la autorización de trabajo se establecerá, conjuntamente, por los responsables de la misma.

Si las condiciones de seguridad cambian durante el trabajo o la duración del mismo fuera superior a la prevista, deberá renovarse el documento.

Tras terminar el trabajo, la autorización se deberá entregar a la persona que lo ha autorizado.

Al término de los trabajos debe comprobarse si sigue manteniéndose o se ha restablecido la seguridad de la instalación.

Debe informarse a todos los participantes sobre la finalización de los trabajos.

Contenido mínimo de información que debe contener una autorización de trabajo:

La autorización de trabajo debe constar de los apartados esenciales que se citan a continuación:

- Fecha,
- Localización del lugar de trabajo
- Descripción del trabajo,

- Especificación de los riesgos existentes y previsibles,
- Comprobación de que la instalación está en condiciones de seguridad,
- Equipos de protección colectiva o individual que hay que usar,
- Si hay personal ajeno a la empresa, datos de la empresa contratada y teléfonos de emergencias,
- El nombre de las personas que autorizan la operación del trabajo,
- El nombre de la persona que vaya a intervenir, y
- La duración de la autorización

Acciones que deben realizar las distintas personas responsables implicadas en el proceso:

La persona responsable de la unidad funcional o sección en donde se realiza el trabajo deberá:

- cumplimentar los apartados de la autorización que le correspondan,
- facilitar a la persona responsable de realizar el trabajo toda la información relativa a la seguridad,
- dejar practicables las instalaciones donde se deba trabajar,
- comprobar la disposición de las medidas de emergencia de la empresa (primeros auxilios, evacuación, etc.).

La persona responsable de la ejecución de un trabajo que requiera autorización deberá:

- cumplimentar los apartados de la autorización que le correspondan y firmarla,
- no iniciar el trabajo si en la autorización no figura toda la información imprescindible,
- inspeccionar el lugar de trabajo y asegurarse de que se cumplan todas las medidas de seguridad,
- verificar la adecuada formación de las personas que efectúen el trabajo e informarle de la manera de realizarlo así como de los riesgos que implican su ejecución y las medidas preventivas pertinentes.

Las personas que realizan el trabajo deberán:

- firmar la autorización después de leerla y asumir su contenido,
- llevarla siempre consigo,
- cumplir las normas de seguridad especificadas en ella,
- respetar la duración establecida para la autorización,
- entregar el documento a la persona responsable del trabajo, una vez finalizado,

- Si hay cambios en las condiciones de seguridad de la instalación, interrumpir el trabajo y comunicarlo para revisar la autorización.

8.- Señalización de zonas para atmósferas explosivas.

Una medida organizativa especial es la señalización de emplazamientos.

Se deberán señalar los accesos a las áreas en las que puedan formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que supongan un peligro para la salud y la seguridad de los trabajadores.

La señalización de *zonas de riesgo de atmósferas explosivas*, es la señal de advertencia siguiente:



Figura 29. Señal de presencia de atmósfera explosiva

Características intrínsecas de la señalización:

- Forma triangular.
- Letras negras sobre fondo amarillo, bordes negros (el amarillo deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal).

Requisitos específicos de la señalización:

- La señalización puede completarse con otras explicaciones que indiquen, por ejemplo, el modo y frecuencia de aparición de una atmósfera explosiva peligrosa (sustancia y zona).
- Pueden colocarse otras señales en aplicación del Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, como, por ejemplo, la prohibición de fumar, etc.

- Cuando el área de riesgo no abarque la totalidad del local sino sólo una parte del mismo, esta área podrá señalizarse mediante un rayado amarillo y negro aplicado, por ejemplo, en el suelo.
- No tiene utilidad, en cambio, señalar una parte de instalación plenamente protegida con una construcción resistente a las explosiones.
- En el contexto de la formación, debe informarse a los trabajadores de la señalización y de su significado.

Esta señal indica que existe riesgo de explosión, por tanto es la misma independientemente de la clasificación de la zona y del tipo de sustancia que provoque la atmósfera explosiva.

En este caso la señalización sigue el mismo concepto que todas aquellas encuadradas en el RD 485/1997, de 14 de abril, y por tanto no debe ser considerada más que en términos complementarios al resto de medidas preventivas aplicadas tras la evaluación de riesgos.

Se puede acompañar, si es necesario, de paneles informativos así como de otras señales apropiadas para la zona.

Los criterios de señalización siguen la base indicada en la Guía Técnica del INSHT, del RD 485/1997. En algunos casos, puede ser conveniente señalar la extensión de la zona si con ello se mejora la seguridad de los trabajadores. Sin embargo, en otros, esta actuación conllevaría una concentración excesiva de señales, perdiendo con ello su objetivo.

La señal es de gran utilidad a la entrada de salas donde se pueden formar atmósferas explosivas, tales como almacenamientos de productos inflamables, salas de baterías, envasado de material pulverulento.

9.- Presupuesto/Estudio de viabilidad económica.

9.1.- Objetivo del estudio.

El objetivo de éste estudio es valorar el coste de los dos métodos posibles de clasificación de áreas peligrosas. Se valorará la cantidad de trabajo requerida en cada método así como las modificaciones que se deben seguir en la práctica para llevarlos a cabo. Se tendrán en cuenta también las posibilidades que existen a la hora de elegir los equipos a instalar así como los sistemas de seguridad requeridos en cada caso.

9.2.- Valoración económica del coste de ingeniería

9.2.1.- Método cualitativo

Concepto	€/h	Nº Horas	€ TOTAL
Horas de trabajo			
Administración	40	2	80
Ingeniero Junior	50	160	8000
Delineante	25	16	400
Soporte técnico	90	20	1800
10280			
Responsabilidad civil			
Firma del documento de clasificación	3000		
3000			
Visitas y reuniones			
	€/visita	Nº visitas	€ total
Coste desplazamientos, dietas y kilometraje	150	4	600
600			
Software y licencias de normativa			
Programas (Office, Autocad, ProgEX dust)	600		
Acceso a normas técnicas (UNE, CEI)	250		
850			
Copias del documento			
Soporte informático y formato papel	100		
Total			14.830 €

Tabla 16. Coste de ingeniería: método cualitativo

9.2.2.- Método cuantitativo.

Concepto	€/h	Nº Horas	€ TOTAL
Horas de trabajo			
Administración	40	2	80
Ingeniero Junior	50	180	9000
Delineante	25	25	625
Soporte técnico	90	25	2250
11955			
Responsabilidad civil			
Firma del documento de clasificación	3000		
3000			
Visitas y reuniones			
	€/visita	Nº visitas	€ total
Coste desplazamientos, dietas y kilometraje	150	5	750
750			
Software y licencias de normativa			
Programas (Office, Autocad,ProgEX dust)	600		
Acceso a normas técnicas (UNE, CEI)	250		
850			
Copias del documento			
Soporte informático y formato papel	100		
Total			16.655 €

Tabla 17. Coste de ingeniería: método cuantitativo

9.3.- Beneficios de invertir en seguridad.

Como se ha comentado anteriormente, resulta difícil de cuantificar económicamente las consecuencias de aplicar las propuestas de mejora que se exponen en este proyecto. Con la aplicación de estas posibles mejoras que se proponen, se gana indudablemente en seguridad.

En una refinería, existe un alto grado de peligrosidad para los trabajadores, por lo que cualquier inversión que mejore la seguridad debe ser bien recibida. Los beneficios que se obtienen por una inversión en seguridad, son difíciles de calcular. Se

podrían estimar como el ahorro de los costes ocasionados por accidentes de trabajo. Estos costes son múltiples y muy variados, tal y como se puede observar en la siguiente tabla.

Primeros auxilios, médicos, indemnizaciones, etc.
Tiempo perdido por estar parado el proceso productivo.
Daños materiales a instalaciones, equipos y productos.
Procesos y condenas judiciales.
Sanciones administrativas.
Conflictos laborales.
Pérdida de imagen y mercado.

Tabla 18. Costes asociados en caso de accidente

9.3.1.- Costes de invertir en seguridad

Aplicación de los criterios de extensión de zonas de la Guía Técnica CEI 31-56

Los criterios de extensión que sigue la Guía Técnica son mayores que los que sigue la norma UNE 61241-10. En consecuencia, al aumentar dicha extensión, equipos y componentes que antes no requerían de modos de protección frente a explosiones por estar fuera del área clasificada, ahora pasan a requerirlo por encontrarse dentro de la zona.

Los costes generados por la decisión de seguir los criterios de extensión de zonas establecidos por la Guía Técnica CEI 31-56 serán, tanto para las instalaciones ya existentes como para las de nueva construcción, el gasto en la compra de equipos y componentes certificados ATEX, tales como elementos de iluminación, interruptores, botoneras, cuadros de mandos, detectores etc. y el coste asociado a su montaje. Este coste de montaje será menor para el caso de una instalación de nueva construcción. En la tabla siguiente se realiza una comparativa de los costes de los componentes que se podrían ver afectados por un aumento de la extensión de zonas.

Componente/equipo	Coste normal	Coste ATEX modos de protección II 2D y II 3D
Luminaria fluorescente estanca 36 W	70 €	104 €
Botonera cuadro de mandos local	555 €	615 €
Pulsador de emergencia	35 €	45 €
Detector de gases	125 €	175 €

Tabla 19. Ejemplo comparativo de precios de varios componentes

NOTA: Se considera el mismo precio para componentes con grado de protección II 2D y II 3D (válidos para zonas 21 y 22 respectivamente), ya que en la actualidad no existe prácticamente diferencia de precios entre ambos, ya que los fabricantes al producir los componentes, ya lo hacen incorporándoles un modo de protección II 2D superior, que incluya al modo II 3D.

9.4.- Comparación de resultados.

Cómo podemos observar a la vista de los resultados, realizar el método cuantitativo no representa un incremento relevante del número de horas dedicadas respecto al método cualitativo. De todas formas ésta diferencia representa un incremento de un 10 % aproximadamente en el presupuesto destinado a la realización del método cuantitativo.

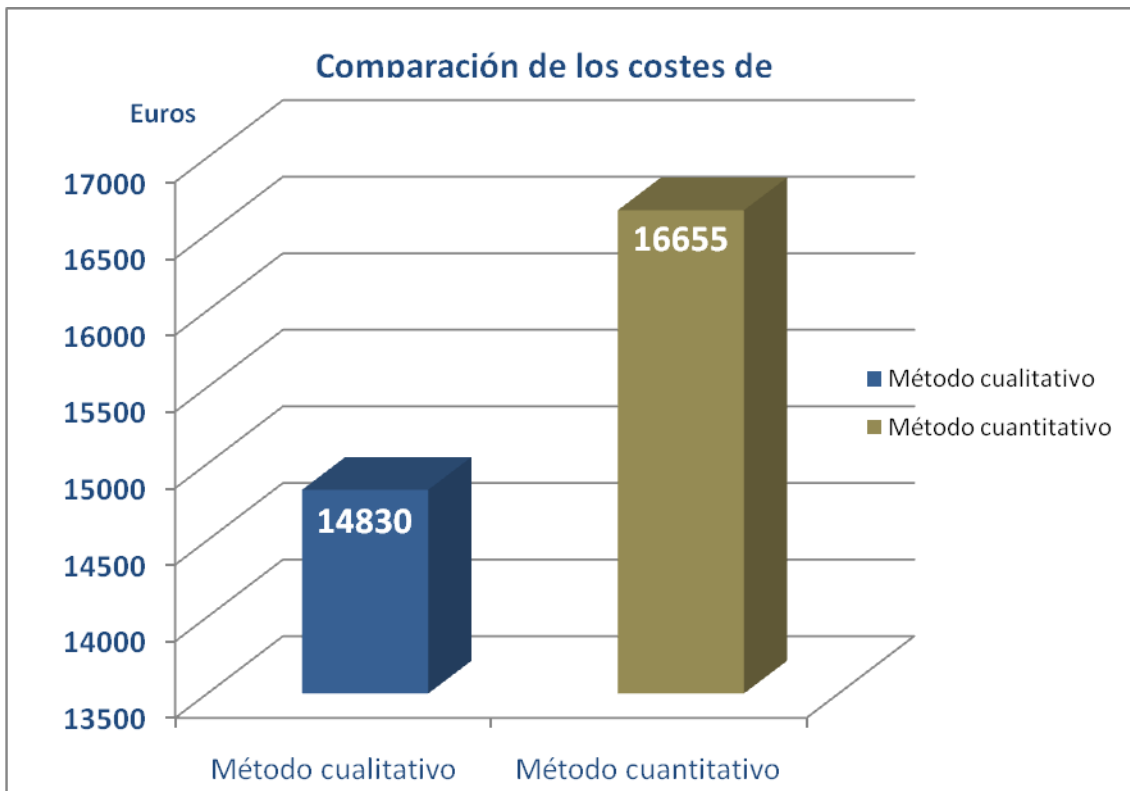


Figura 30. Gráfico comparativo del coste de ingeniería para ambos métodos

Cómo podemos observar gracias a la realización del método cuantitativo deberemos utilizar equipos de categoría II en una zona más extendida que con el método cualitativo lo que representa un coste de adquisición y mantenimiento mayor debido al mayor grado de protección que requieren los equipos para dichas áreas.

Se observa que la diferencia de precios para equipos con modos de protección válidos para zonas 21 y 22 oscila en torno a un 20 - 30 % superior al precio normal que tendría ese componente. Se deduce por tanto, que el coste total para el conjunto completo de una instalación (no del proyecto) se incrementaría también del orden de un 20 - 30 %.

La ventaja que conlleva el tomar los criterios de extensión de zonas de la Guía Técnica CEI 31-56 es que se realiza una clasificación más realista, fundamentada

técnica y matemáticamente con la incorporación de nuevos parámetros y características de los polvos. Con ello se aumenta la seguridad, ya que se sigue un método matemático, que resulta más preciso que la valoración subjetiva que sigue la norma UNE 61241-10. Este aumento de la seguridad, se puede reflejar económicamente en una reducción de la prima del seguro. Por tanto, a la hora de evaluar económicamente la implantación de la extensión de zonas según la Guía Técnica CEI 31-56, se debe comparar el coste que conlleva la compra de nuevos equipos certificados ATEX y su montaje, con la reducción de la prima del seguro que se obtendría por tomar dicha clasificación.

Según se ha indicado, cuanto mayor es la probabilidad de que se forme o esté presente una atmósfera potencialmente explosiva, mayores deben ser las exigencias de los equipos que se van a instalar. Es importante señalar que dentro de un mismo emplazamiento pueden coexistir diferentes tipos de zonas, cada una con sus correspondientes exigencias. A veces es posible desplazar un equipo (por ejemplo, luminarias, timbres, altavoces) una pequeña distancia suficiente para que el equipo quede instalado en una zona de menor grado de exigencia.

Se produce en este momento un interrogante para el técnico encargado de la elección de los equipos, ya que debe elegir entre una inversión inicial más costosa con equipos más seguros o proceder a un mayor gasto en una limpieza más exhaustiva que mantenga la clasificación de zonas

10.- Conclusiones

El RD 681/2003 determina como obligación para el empresario, la necesidad de evaluar los riesgos de explosión, y tomar las medidas adecuadas con objeto de prevenir las explosiones y de proporcionar una protección contra las mismas. Para ello, el empresario debe elaborar el “Documento de Protección Contra Explosiones”. Dicho documento incluye la clasificación en zonas de las áreas de riesgo.

La rigurosidad en la clasificación de zonas es de vital importancia en lo referente a la profesionalidad y objetividad. Irregularidades en este sentido, por defecto, pueden comprometer la seguridad de las personas e instalaciones, y por exceso, incrementar los costes de la empresa, y en empresas pequeñas arriesgar la viabilidad de las mismas, al requerir importantes inversiones económicas.

Una conclusión que se recoge de la clasificación de zonas según la Guía Técnica CEI 31-56 es que la extensión de las zonas 21 y 22 obtenidas son mayores que las extensiones establecidas por la UNE-61242-10.

Considerando que las extensiones propuestas por la Guía Técnica CEI 31-56 son más realistas al incluir parámetros que antes no se tenían en cuenta, se llega a la conclusión de la norma más generalmente utilizada en España se queda corta a la hora de definir las extensiones de las zonas.

Al aumentar la extensión de las zonas clasificadas obliga a aumentar las medidas que permitan desclasificar las zonas o a utilizar equipos aptos para estas zonas. Esto afecta fundamentalmente a equipos eléctricos o electrónicos, y en algún caso a equipos mecánicos.

No existe una gran diferencia de coste entre los equipos válidos para zona 21 o 22 (modos de protección II 2D y II 3D respectivamente). Las mayores diferencias son para pasar de zona no clasificada a zona clasificada sea 21 o 22.

Además del coste de inversión de los equipos, aumenta el coste de mantenimiento de los equipos electrónicos y mecánicos para garantizar el mantenimiento de sus condiciones.

Por otro lado, la introducción de medidas como los sistemas de limpieza, captación, humidificación del coque, aunque supongan una mayor inversión, proporcionan una clara mejora de la seguridad, ya que se reducen las posibilidades de formación de atmósferas explosivas.

11.- Definiciones

-Aparatos: Máquinas, materiales, dispositivos fijos o móviles, órganos de control e instrumentación, sistemas de detección y prevención que, solos o combinados, se destinan a la producción, transporte, almacenamiento, medición, regulación, conversión de energía y transformación de materiales y que, por las fuentes potenciales de ignición que los caracterizan, pueden desencadenar una explosión.

-Área de riesgo: También llamada **zona peligrosa**. Área en la que pueden formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que resulte necesaria la adopción de precauciones especiales para proteger la seguridad y la salud de los trabajadores afectados.

-Área que no presenta riesgo: Área en la que no cabe esperar la formación de atmósferas explosivas en cantidades tales que resulte necesaria la adopción de precauciones especiales.

-Atmósfera de gas explosiva: Es una mezcla de una sustancia inflamable en estado de gas o vapor con el aire, en condiciones atmosféricas, en la que, en caso de ignición, la combustión se propaga a toda la mezcla no quemada.

-Atmósfera de polvo explosivo: Mezcla de aire, en condiciones atmosféricas, con sustancias inflamables bajo la forma de polvo o de fibras en las que, en caso de ignición, la combustión se propaga al resto de la mezcla no quemada.

-Atmósfera explosiva peligrosa: Atmósferas explosivas en cantidades tales que suponen un peligro para la salud y la seguridad de los trabajadores.

-Atmósfera potencialmente explosiva: Atmósfera que puede convertirse en explosiva debido a circunstancias locales y de funcionamiento.

-Categoría: Clasificación de los materiales en función del grado de protección necesario.

-Chispa iniciadora: Chispa (mecánica, eléctrica o electrostática) que puede actuar como una fuente efectiva de ignición para que se de comienzo a la inflamación de una atmósfera explosiva.

-Clase de temperatura: Los medios de trabajo se clasifican en clases de temperatura según su temperatura máxima de superficie. De manera análoga, se efectúa una clasificación de los gases según su temperatura de ignición.

-Clasificación de las áreas de riesgo: Las áreas de riesgo se clasifican en zonas teniendo en cuenta la frecuencia con que se producen atmósferas explosivas y la duración de las mismas.

-Componentes: Piezas que son esenciales para el funcionamiento seguro de los aparatos y sistemas de protección, pero que no tienen función autónoma.

-Concentración límite en oxígeno: Concentración máxima de oxígeno en una mezcla de una sustancia inflamable con aire en la que no se produce una explosión, en condiciones de ensayo determinadas.

-Condiciones atmosféricas: Por regla general, se entiende por condiciones atmosféricas una temperatura ambiente entre -20°C y 60°C y un intervalo de presiones de 0,8 bares a 1,1 bares.

-Deflagración: Explosión que se propaga a una velocidad subsónica.

-Detonación: Explosión que se propaga a una velocidad supersónica y que se caracteriza por una onda de choque.

-Dispositivo de descarga de la explosión: Dispositivo que obtura una abertura de descarga durante el funcionamiento normal y la abre en caso de explosión. Esta medida de protección limita la presión de explosión mediante evacuación de las mezclas no quemadas y de los productos de combustión abriendo aberturas predeterminadas, para que un recipiente, lugar de trabajo o edificio no quede sometido a una sollicitación superior a su resistencia prevista a las explosiones.

-Emplazamiento peligroso: es un espacio en el que una atmósfera explosiva está o puede estar presumiblemente presente en una cuantía tal como para requerir precauciones especiales en el diseño, construcción, instalación y/o utilización de materiales.

-Empresario: Cualquier persona física o jurídica que sea titular de la relación laboral con el trabajador y tenga la responsabilidad de la empresa y/o establecimiento.

-Energía mínima de ignición (EMI): La más débil energía eléctrica acumulada en un condensador, que al descargarse es suficiente para producir la ignición de la atmósfera más fácilmente inflamable, en condiciones de ensayo determinadas.

-Envolverte (de un equipo o sistema de protección): Todas las paredes incluyendo puertas, tapas, entrada de cables, varillas, ejes y mangos, que contribuyen a la protección del equipo o al sistema de protección y/o sus grados de protección (IP) de los aparatos eléctricos.

-Equipo de trabajo: Cualquier máquina, aparato, instrumento o instalación utilizado en el trabajo.

-Establecimiento: Se entiende como la totalidad de la zona bajo control en la que se encuentran una o varias instalaciones, incluidas las infraestructuras o actividades comunes o conexas

-Explosión: Reacción brusca de oxidación o de descomposición, que produce un incremento de temperatura, de presión o de las dos simultáneamente.

-Funcionamiento normal: Situación que se produce siempre que el equipo, sistema de protección o componente funciona de acuerdo a lo previsto dentro de lo especificado en sus parámetros de diseño.

-Grado de dispersión: Medida del reparto (más fino) de una sustancia gaseosa o líquida (fase dispersa) en otra sustancia líquida o gaseosa (medio de dispersión) sin enlace molecular como aerosol, emulsión, coloide o suspensión.

-Grado de protección de las envolventes (IP): Clasificación numérica precedida por el símbolo "IP" aplicada a los recintos de los aparatos eléctricos para mejorar la protección contra contactos con partes móviles, entrada de cuerpos extraños y entrada perniciosa de agua o líquidos.

-Grupo de aparatos: El grupo de aparatos I está formado por aquellos destinados a trabajos subterráneos en las minas y en las partes de sus instalaciones de superficie en las que puede haber peligro debido al grisú y/o al polvo combustible. El grupo de aparatos II está compuesto por aquellos destinados al uso en otros lugares en los que puede haber peligro de formación de atmósferas explosivas.

-Grupo de explosión: En función de su intersticio límite (la capacidad de penetración de una llama de explosión por un intersticio determinado se determina en aparatos normalizados) y de su energía de encendido, los gases y vapores se subdividen en tres grupos: II A, II B, II C, siendo II C el grupo con el menor intersticio límite.

-Inertización: Adición de sustancias inertes para prevenir las atmósferas explosivas.

-Límites de explosividad: Cuando la concentración de la sustancia inflamable suficientemente dispersa en aire rebasa cierto valor mínimo (límite inferior de explosividad), es posible una explosión. La explosión ya no se produce cuando la concentración de gas o vapor ha superado cierto valor máximo (límite superior de explosividad). Los límites de explosividad se modifican en condiciones distintas de las atmosféricas. El rango de concentración entre los límites de explosividad suele ampliarse, por ejemplo, con el aumento de presión y el aumento de temperatura de la mezcla. Sólo puede formarse una atmósfera explosiva sobre un líquido inflamable si la temperatura de la superficie del líquido rebasa cierto valor mínimo.

-Límite inferior de explosividad: Límite inferior del rango de concentración de una sustancia inflamable en aire en el que puede producirse una explosión.

-Límite superior de explosividad: Límite superior del rango de concentración de una sustancia inflamable en aire en el que puede producirse una explosión.

-Lugar de trabajo: son las áreas del centro de trabajo, edificadas o no, en las que los trabajadores deban permanecer o a las que puedan acceder en razón de su trabajo. Se

consideran incluidos en esta definición los servicios higiénicos y locales de descanso, los locales de primeros auxilios y los comedores. Las instalaciones de servicio o protección anejas a los lugares de trabajo se considerarán como parte integrante de los mismos.

-Mezcla explosiva: Mezcla de un material combustible finamente dispersado en la fase gaseosa con un oxidante gaseoso en la que, tras su ignición, puede propagarse una explosión. Si el oxidante es aire en condiciones atmosféricas, se habla de atmósfera explosiva.

-Mezcla híbrida: Mezcla de sustancias inflamables con aire en diferentes estados físicos, por ejemplo de metano y de polvos de carbón con aire.

-Niebla: Suspensión (nube) de pequeñas gotas en el aire.

-Operador de equipo: el trabajador encargado de la utilización de un equipo de trabajo.

-Peligro: Eventualidad de daño indefinida y no fija.

-Polvo: Pequeñas partículas sólidas en la atmósfera que pueden fijarse bajo su propio peso, pero que pueden permanecer suspendidas en el aire durante algún tiempo.

-Polvo combustible: Polvo que es combustible o inflamable mezclado con aire.

-Polvo conductor: Polvo cuya resistividad eléctrica es igual o menor de 10^3 S m .

-Presión de explosión reducida: Presión producida por la explosión de una atmósfera explosiva en un recipiente protegido por la descarga de la explosión o por la supresión de la explosión.

-Presión (máxima) de explosión: Máxima presión obtenida en un recipiente cerrado durante la explosión de una atmósfera explosiva, en condiciones de ensayo determinadas.

-Punto de ignición: Temperatura mínima a la que, en condiciones de ensayo específicas, un líquido emite suficiente gas o vapor combustible para inflamarse momentáneamente en presencia de una fuente de ignición efectiva.

-Punto inferior de explosión: Temperatura de un líquido combustible a la que la concentración de vapor saturado en el aire es igual al límite inferior de explosividad.

-Punto superior de explosión: Temperatura de un líquido combustible en que la concentración de vapor saturado en el aire es igual al límite superior de explosividad.

-Rango de explosividad: Rango de concentración de una sustancia inflamable en el aire, dentro de la cual se puede producir la explosión.

-Resistencia a la presión de explosión: Propiedad de los recipientes y aparatos diseñados para resistir la presión de explosión esperada sin deformación permanente.

-Resistencia al choque de la presión de explosión: Propiedad de los recipientes y aparatos diseñados para resistir la presión esperada, sin rotura, pero permitiendo una deformación permanente.

-Riesgo: Combinación de la probabilidad de que un peligro se haga efectivo y el grado potencial de lesión o daño para la salud que originaría.

-Seguridad: Representa una situación en la que el riesgo presenta un nivel aceptablemente bajo.

-Sectores de Actividad o unidades operativas: Representa una situación en la que el riesgo presenta un nivel aceptablemente bajo.

-Sistema de alivio de la presión: Sistema diseñado para prevenir, dentro de una mezcla confinada, un aumento excesivo de la presión mediante la activación de aperturas de descarga que permiten la salida del gas que resulta de la explosión.

-Sistema de cierre de emergencia: Es un tipo de protección que cierra o aísla automáticamente las partes menos seguras de los equipos o sistemas si se produce una situación predeterminada.

-Sustancias capaces de formar atmósferas explosivas: Las sustancias inflamables se consideran sustancias capaces de formar atmósferas explosivas a no ser que el análisis de sus propiedades demuestre que, mezcladas con el aire, no son capaces por sí solas de propagar una explosión.

-Sustancia inflamable: Sustancia en forma de gas, vapor, líquido, sólido o sus mezclas, susceptible de sufrir una reacción exotérmica con aire tras la ignición.

-Tamaño de partícula: Diámetro nominal de una partícula de polvo.

-Técnicamente estanco: Las partes de instalación son técnicamente estancas cuando no se detectan fugas en la vigilancia o control de la estanqueidad apropiada para el uso previsto, pero no pueda excluirse del todo fugas pequeñas y raras de sustancias inflamables.

-Temperatura de ignición: Temperatura más baja de una superficie caliente, obtenida en condiciones de ensayo determinadas, a la que se puede producir la ignición de una sustancia combustible en forma de mezcla de gas, vapor o polvo con aire.

-Temperatura máxima admisible de superficie: Temperatura máxima admisible de una superficie obtenida tras deducir de la temperatura de encendido o de combustión cierto valor de temperatura previamente fijado.

-Temperatura máxima de servicio: Es la temperatura máxima alcanzada cuando un equipo o sistema de protección está operando en las condiciones de operación normal.

-Tipo de protección contra ignición: Medidas particulares adoptadas en equipos de trabajo para evitar la ignición de una atmósfera explosiva ambiental.

-Trabajador expuesto: cualquier trabajador que se encuentre total o parcialmente en una zona peligrosa.

-Utilización de un equipo de trabajo: Cualquier actividad referida a un equipo de trabajo, tal como la puesta en marcha o la detención, el empleo, el transporte, la reparación, la transformación, el mantenimiento y la conservación, incluida la limpieza.

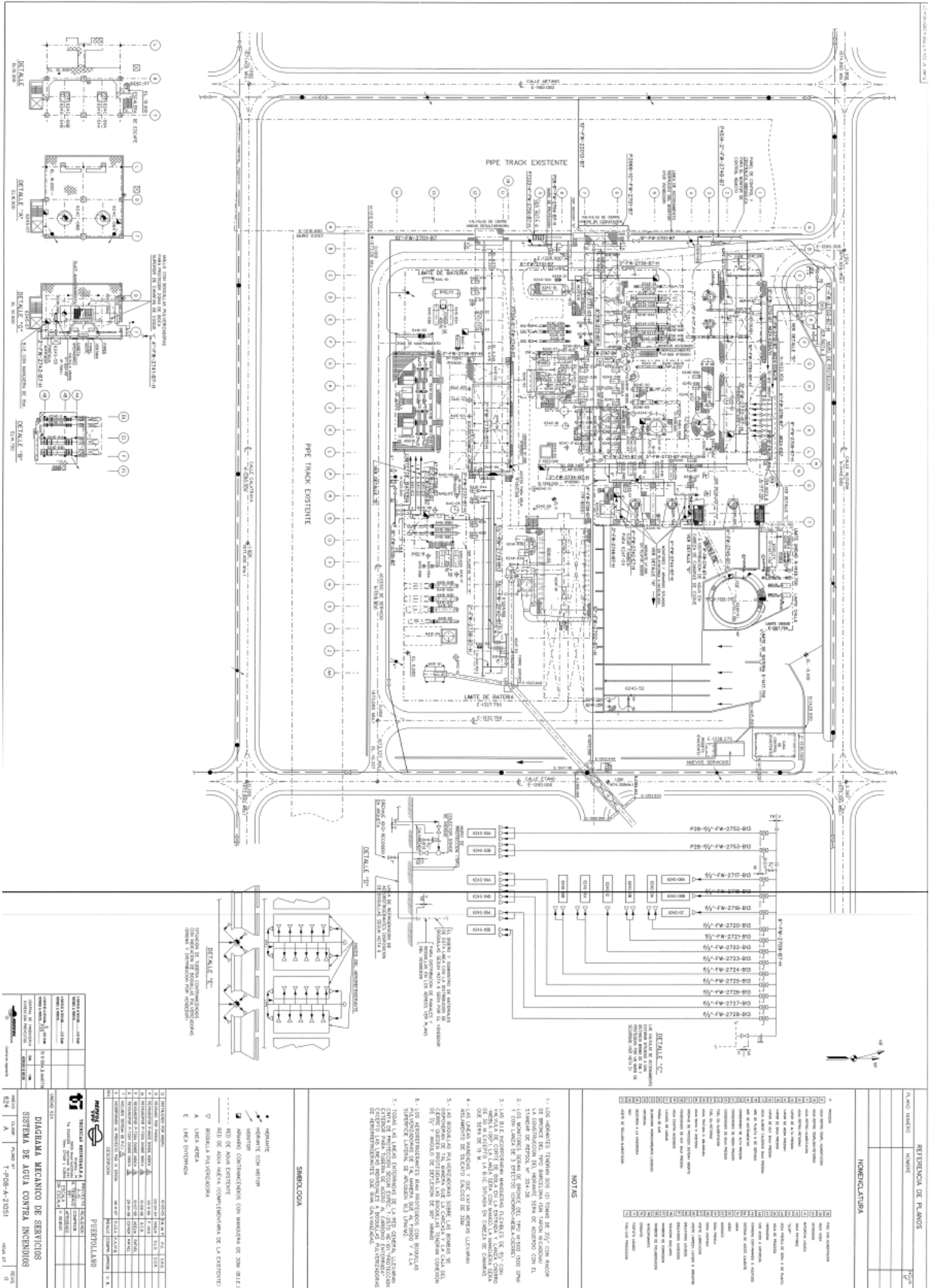
-Velocidad máxima de aumento de la presión $((dp/dt)_{max})$:

Valor máximo del incremento de presión por unidad de tiempo, obtenido en un recipiente cerrado durante las explosiones de todas las atmósferas explosivas de la sustancia combustible, en condiciones de ensayo específicas.

12.- Anexos

12.1.- Anexo I: Planos

Plano 1. Implantación general de la planta



Plano 1. Implantación general de la planta

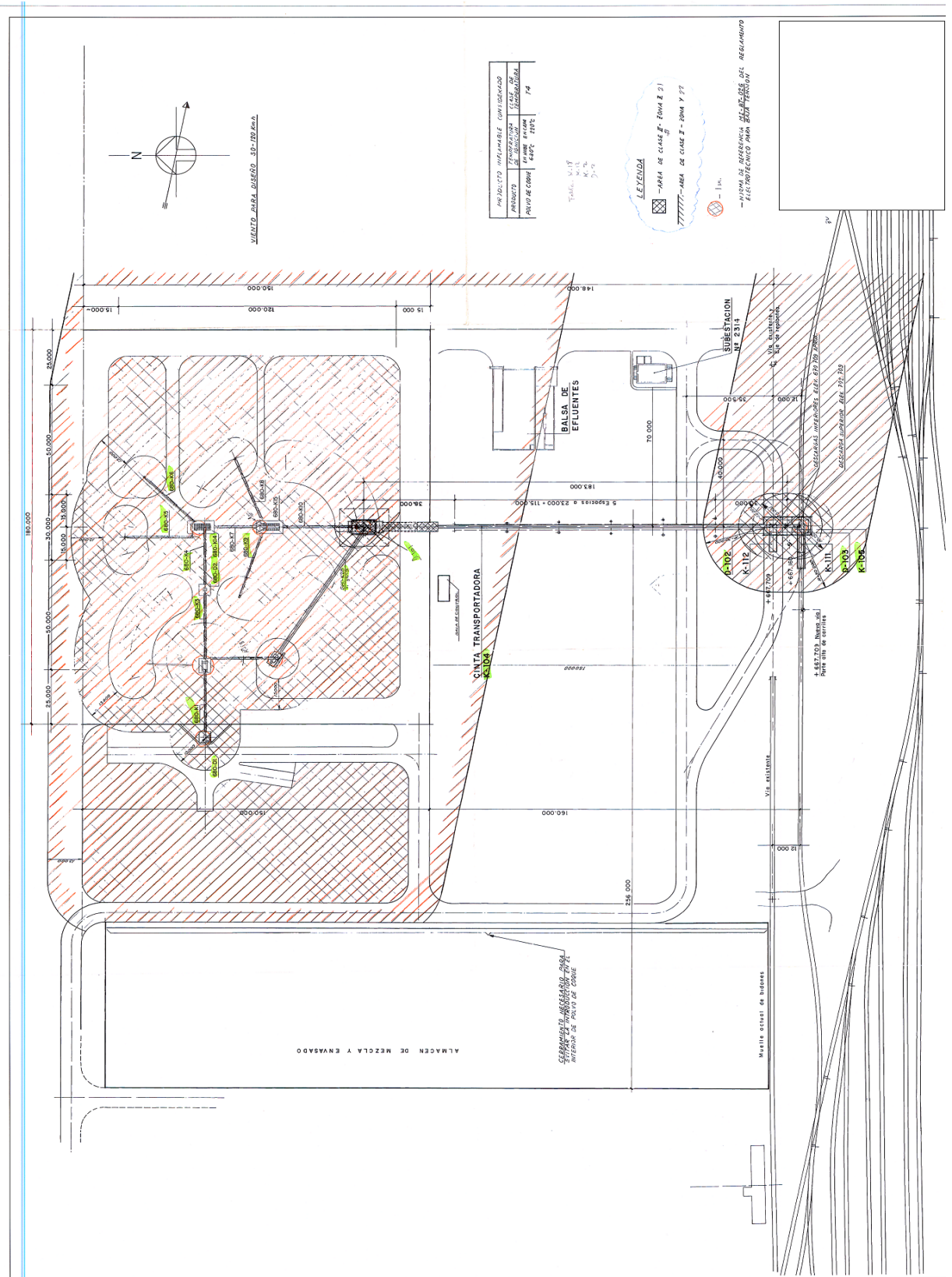
Plano 2. Localización de los coque drums

Universidad Carlos III de Madrid y Repsol YPF S.A

Plano 3. Planta de clasificación de coque

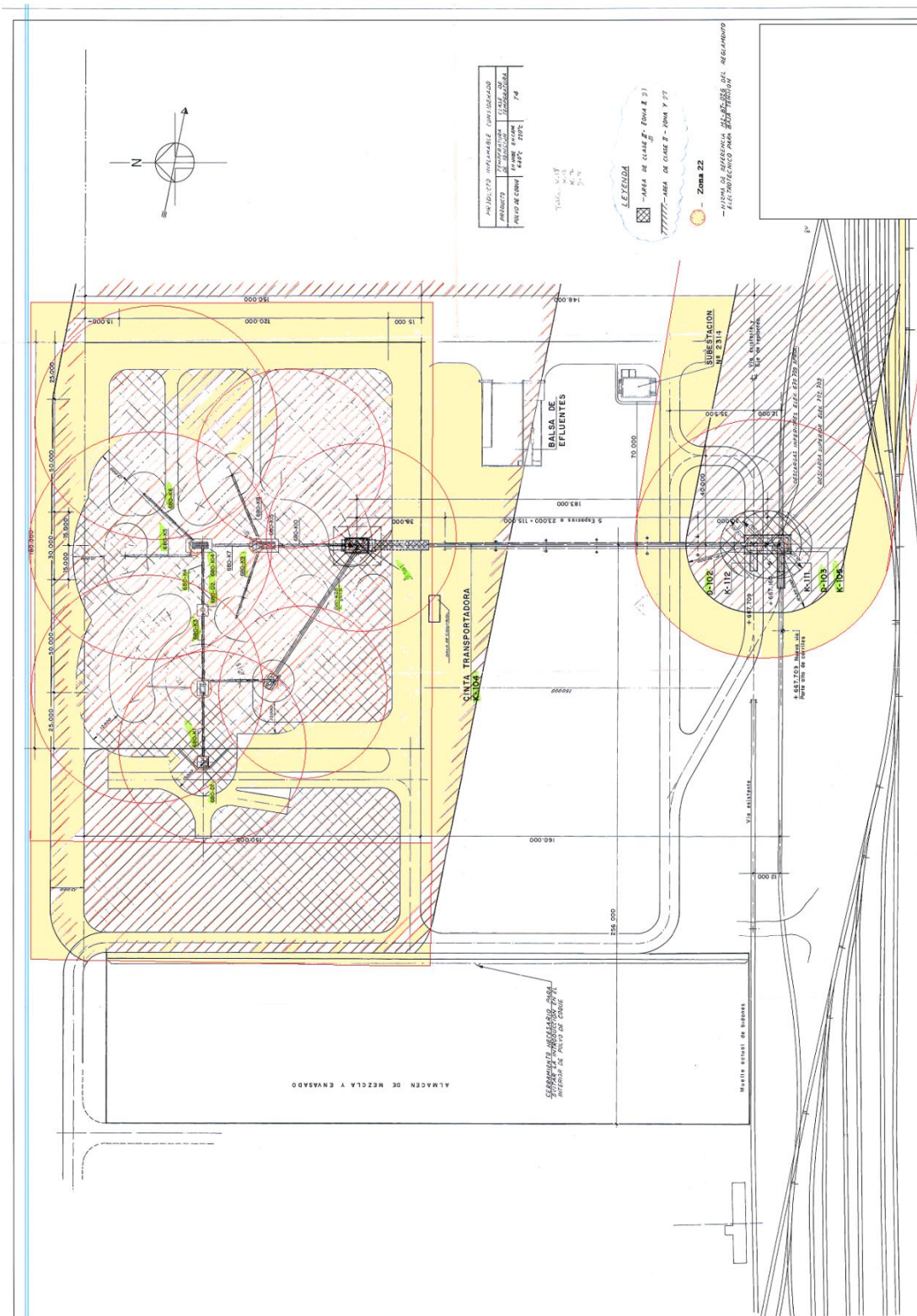
Universidad Carlos III de Madrid y Repsol YPF S.A

Plano 4. Plano de clasificación de áreas para atmósferas explosivas: Método cualitativo



Plano 4. Plano de clasificación de áreas para atmósferas explosivas: método cuantitativo

Plano 5. Plano de clasificación de áreas para atmósferas explosivas: Método cuantitativo



Plano 5. Plano de clasificación de áreas para atmósferas explosivas: método cuantitativo

12.2.- Anexo II: Clasificación de las fuentes de escape y fuentes de ignición.

Fuentes de escape para gases

Fuentes de escape	Recipientes: columnas, tanques y depósitos						
Columnas, tanques y depósitos	Nombre		Condiciones de operación		Sustancia	Tipo de escape	
			Temperatura °C	Presión Kg/cm^2 g		Tipo de zona	Grado de escape
	Fracccionadora		185/441	0,7	Hidrocarburos: alimentación fresca, efluente de cámaras, reflujo de cabeza, retorno de strippers, recicios e hidrocarburos rico de absorción	Zona 0 (dentro de cámara)-Zona 2	Continuo-secundario
	Stripper de LCD		170	0,6	Destilado ligero de coquer LCD	Zona 0 (dentro de cámara)-Zona 2	Continuo-secundario
	Stripper de LCGO		231	0,65	Gas oil ligero de coquer LCGO	Zona 0 (dentro de cámara)-Zona 2	Continuo-secundario
	Stripper de HCGO		334	0,72	Gas oil pesado de coquer HCGO, vapor	Zona 0 (dentro de cámara)-Zona 2	Continuo-consecuencia
	Enfriadora de purgas		177/429	0,56	Vapor e hidrocarburos ligeros+ producto de fondo de la columna enfriadora de purgas (productos parafínicos)	Zona2	secundario
	Aborbedor/stripper	Sección absorbedor	57	13,7	Fase líquida de hidrocarburos: gasolina sin estabilizar. Nafta de absorción.	Zona2	secundario
		Sección stripper	162	15,2	Agua e hidrocarburos líquidos.	zona2	secundario
	Absorbedor secundario		46	13,3	Hidrocarburo de absorción pobre de LCD, gas de cabeza del absorbedor primario. Nafta de fue-gas ácido.	zona2	secundario
	Desbutanizadora		58	12,1	LPG ácido y nafta estabilizada.	Zona 0 (dentro de cámara)-Zona 2	Continuo-secundario
	Cámaras de coquización		441	1,4	Efluente del horno, coque y vapores de coque	Zona 0 (dentro de cámara)-Zona 2	Continuo-primario
	Recipiente de condensado de coque		371/204	1,05	Condensado de gases de la cámara fría.	Zona2	primario
	Recipiente de decantación de purga		65	0,35	Gas oil ligero de coquer producto, vapor de agua, hidrocarburos no condensados. Demulsificante.	Zona2	Secundario
	Recipiente de vapor-aire de decoquizado		98	0		-	-
	Recipiente de purga de vapor		98	0	Purga de los generadores de vapor y agua.	Zona 2	Secundario
	Separador del compresor		52	0,11	Gases de la cabeza de la fraccionadora, fuel-gas y LPG	Zona 2	secundario
	Separador de fuel gas		40	2,7	Fuel-gas	zona 2	secundario
	Separador intermedio del compresor		38	3,3	Efuente del cambiador E35: Fase acuosa de los productos del acumulador de cabeza de la fraccionadora: agua de lavado. Gases de la cabeza de la fraccionadora, fuel-gas y LPG	Zona 2	secundario
	Separador de antorcha		260	0,21	productos ligeros condensados, productos pesados, gases.	zona 2	secundario
	Separador de agua		68	16,3	Agua	Emplazamiento no peligroso	-
	Separador de gas de cola		46	13,2	Gas de la parte superior del absorbedor, hidrocarburo de absorción rico líquido	zona 2	secundario
	Alimentación Absorber/stripper		43	14,2	Efluente del enfriador de descarga del compresor: Agua e hidrocarburos: líquido de lavado. Gas de coquización, gas de cabeza del stripper C23, hidrocarburo rico de fondo del absorbedor	zona 1-2	primario-secundario
	Acumulador cabeza de desbutanizadora		38	11,8	Líquido condensado del gas de cabeza de la desbutanizadora.	zona 2	secundario
	Acumulador cabeza de fraccionadora		38	0,35	Efluente del condensador de cabeza de la fraccionadora: Mezcla de gases, gasolina vaporizada, vapor de agua, agua de lavado	Zona 2	Secundario
	Tanque de agua		65	Atm	Agua y fase acuosa del efluente de C10	Emplazamiento no peligroso	-
Tanque de lodos aceitosos		Amb	Atm	Lodos aceitosos.	Emplazamiento no peligroso	-	
Tanque de FOPY		60	Atm	HCGO	zona 2	secundario	

Tabla 20. Lista de equipos y fuentes de escape I

Fuentes de escape	Intercambiadores					
	Nombre	Condiciones de operación		Sustancia	Tipo de escape	
		Temperatura °C IN/OUT	Presión Kg/cm^2		Tipo de zona	Grado de escape
Intercambiadores de carcasa y tubo	Condensador cabeza de fraccionadora	125/38	0,81	Mezcla de gases, gasolina vaporizada, vapor de agua, agua de lavado	Zona 2	Secundario
	Calentador de columna de purga	149/ 149	0,56	Vapor de media y baja presión. Producto de fondo de C09	Zona 2	Secundario
	Cambiador reflujo circulante/Alimentación	349/296	12,8	Gas oil, reflujo circulante de HCGO / carga: hidrocarburos	Zona 2	Secundario
	Cambiador HCGO/Alimentación	323/148	13,5	HCGO, producto de fondo del stripper de gas oil pesado / carga: hidrocarburos	zona 2	Secundario
	Generador de vapor rereflujo circulante	158/223	24	Reflujo circulante de HCGO	Zona 2	Secundario
	Enfriador de LCD	168/35	10,8	Producto de fondo del stripper de destilado ligero / agua	Zona 2	Secundario
	Enfriador de LCGO	163/50	11,8	Producto de fondo del stripper de destilado ligero	Zona 2	Secundario
	Cambiador LCGO/BFW	183/163	12,78	Producto de fondo del stripper de destilado ligero / agua	Zona 2	Secundario
	Generador de vapor de baja	156/ 156	4,64	Producto de fondo del stripper de destilado ligero, vapor de baja presión	Zona 2	Secundario
	Rehervidor inferior del stripper	126/141	15,5	Nafta estabilizada de coque	Zona 2	Secundario
	rehervidor superior del stripper	138/160	15,7	Vapor de media presión.	Zona 2	Secundario
	enfriador final de aceite pobre	60/38	10,2	Nafta estabilizada del fondo de la desbutanizadora.	Zona 2	Secundario
	cambiador aceite pobre/aceite rico	55/138	13,7	Hidrocarburo de absorción pobre de LCD/hidrocarburo de absorción rico de LCD y producto de fondo del absorberdor secundario	Zona 2	Secundario
	Enfriador final de sponge-oil	96/38	15,8	Hidrocarburo de absorción pobre de LCD/agua de refrigeración	Zona 2	Secundario
	Condensador de cabeza de C-30	58/38	12,1	Gas de cabeza de la desbutanizadora.	Zona 2	Secundario
	Enfriador de LCGO	158/50	11,9	Producto de fondo del stripper de destilado ligero	Zona 2	Secundario
	Enfriador descarga del compresor	68/43	14,52	Agua e hidrocarburos: liquido de lavado. Gas de coquización, gas de cabeza del stripper C23, hidrocarburo rico de fondo del absorbedor	Zona 2	Secundario
	Rehervidor de la desbutanizadora	187/197	12,7	Rflujo circulante de HCGO	Zona 2	Secundario
	Enfriador intermedio del compresor	82/38	3,61	Fase acuosa de los productos del acumulador de cabeza de la fraccionadora: agua de lavado. Gases de la cabeza de la fraccionadora, fuel-gas y LPG	Zona 2	Secundario
	Rehervidor extracción lateral de C-30	173/182	12,9	Vapor de media presión, gases de hidrocarburos.	Zona 2	Secundario
	Precalentador de aire			Humos del horno	Zona 2	Secundario
	Calentador de columna de purga			Gases de la fraccionadora.	Zona 2	Secundario
	Condensador de superficie			Agua de refrigeración.	Emplazamiento no peligroso	-
Autorrefrigerantes	Condensador de purga	177/65	0,53	Vapor de agua, hidrocarburos no condensados.	Zona 2	Secundario
	Enfriador de aceite de purga en circulación	238/149	12,26	producto de fondo de la columna enfriadora de purgas (productos parafínicos)	Zona 2	Secundario
	Enfriador de HCGO	165/54	14,96	Producto de fondo del stripper de gas oil pesado HCGO	Zona 2	Secundario
	Enfriador de aceite pobre	141/60	10,7	Nafta estabilizada del fondo de la desbutanizadora.	Zona 2	Secundario

Tabla 21. Lista de equipos y fuentes de escape II

Fuente de escape	Equipos rotativos						
			Bombas				
	Nombre	Condiciones de aspiración de diseño		Caudal normal (m^3/h)	Sustancia	Tipo de escape	
		Temperatura °C	Presión Kg/cm^2			Tipo de zona	Grado de escape
Bombas	Bomba de carga al horno	299	1,08	165	Hidrocarburos: producto de fondo de la fraccionadora+ gas oil ligero de vacío	Zona 2	Secundario
	Bomba de nafta	80	0,75	12,5	Fase líquida de hidrocarburos: gasolina sin estabilizar.	Zona 2	Secundario
	Bomba de LCD	157	1,82	7,9	Producto de fondo del stripper de destilado ligero	Zona 2	Secundario
	Bomba de LCGO	250	1,8	65,3	Gas oil pesado de coquer, Producto de fondo del stripper de destilado ligero, gasoil de enfriamiento.	Zona 2	Secundario
	Bomba de reflujo circulante de HCGO	332	2,02	336	Gas oil pesado de coquer, gas oil de enfriamiento, gas oil de lavado y reflujo circulante de HCGO, gas oil ligero de vacío	Zona 2	Secundario
	Bomba de condensado de coque	204/371	1,26	34	Líquido recogido en C07 (gases condensados de la fraccionadora en la cámara fría)	Zona 2	Secundario
	Bomba de aceite de recirculación	238	0,1	115,5	producto de fondo de la columna enfriadora de purgas (productos parafínicos)	Zona 2	Secundario
	Boimba de agua de purga	65	0,77	64,9	Fase acuosa del efluente de C10	Zona 2	Secundario
	Bomba de slop	65	0,71	12	Fase compuesta de hidrocarburos del efluente de C10.	Zona 2	Secundario
	Bomba de agua de la fraccionadora	51,7	0,51	12	Fase acuosa de los productos del acumulador de cabeza de la fraccionadora	Zona 2	Secundario
	Bomba de agua de enfriamiento	65	0,41		Agua	Emplazamiento no peligroso	-
	Bomba de corte	65	0		Agua	Emplazamiento no peligroso	-
	Bomba de agua decantada	65	0		Agua	Emplazamiento no peligroso	-
	Bomba de BFW	160	28,45	2,1	Agua	Emplazamiento no peligroso	-
	Bomba del separador del compresor	52	0,26		Efluente del condensador de cabeza de la fraccionadora: Mezcla de gases, gasolina vaporizada, vapor de agua, agua de lavado	Zona 2	Secundario
	Bomba intermedia del compresor	38	3,24	10,7	Agua e hidrocarburos.	Zona 2	Secundario
	Bomba del separador de antorcha	134	0,28		Componentes pesados.	Zona 2	Secundario
	Bomba de condensado	41	-0,6	7,5	Efluente condensado del E310: hidrocarburos.	Zona 2	Secundario
	Bomba de reflujo de la fraccionadora	51,7	0,48	92	Fase líquida de hidrocarburos: gasolina sin estabilizar.	Zona 2	Secundario
	Bomba de alimentación a U-624	150	0,8	167,7	Carga: hidrocarburos		
	Bomba de lubricación de 624K-01	40	0				
	Bomba de lubricación de 624KT-1	40	0				
	Bomba de alimentación de FOPY al horno	50	0				
	Bomba de aceite de absorción (LCD)	27	3,18	43,1	Hidrocarburo de absorción pobre de LCD, destilado ligero de coquización.	Zona 2	Secundario
	Bomba de Nafta	66	9,9	94,79	Nafta estabilizada del fondo de la desbutanizadora.	Zona 2	Secundario
	Bomba de alimentación al stripper	99	12,68	123,4	Hidrocarburos líquidos.	Zona 2	Secundario
	Bomba de reflujo de la desbutanizadora	80	11,94	37,1	Líquido condensado en el condensador de cabeza de la desbutanizadora de los gases de cabeza de la desbutanizadora	Zona 2	Secundario
	Bomba de LPG producto	80	11,94	10,6	Líquido condensado en el condensador de cabeza de la desbutanizadora de los gases de cabeza de la desbutanizadora	Zona 2	Secundario

Tabla 22. Lista de equipos y fuentes de escape III

Fuente de escape	Equipos rotativos										
Compresores	Nombre		Condiciones de operación						Sustancia	Tipo de escape	
			1ª etapa			2ª etapa				Tipo de zona	Grado de escape
			Caudal(m^3/h)	Presión aspiración Kg/cm^2	Presión impulsión Kg/cm^2	Caudal(m^3/h)	Presión aspiración Kg/cm^2	Presión impulsión Kg/cm^2			
	Compresor de gas de coquización	caso 1	14651	1,23	4,77	13077	4,07	15,82	Gas de coquización, nafta de coquer estabilizada, LPG y fuel-gas ácido	Zona 2	Secundario
	caso2	15325	1,23	4,77	13705	4,07	15,82	Gas de coquización, gas del separador intermedio del compresor.	Zona 2	Secundario	

Fuente de escape	Equipos rotativos										
Soplantes	Nombre		Condiciones de operación			Sustancia	Tipo de escape				
			Caudal Kg/h	Presión aspiración mmca	Presión impulsión mmca		Tipo de zona	Grado de escape			
			Ventilador de tiro inducido	65230	-145		0	Aire			
	Ventilador de tiro forzado	60200	-80	240	Aire						
Ventilador de tiro forzado	44950 Nm^3/h	Atm	100	Aire							

Fuente de escape	Equipos rotativos										
Turbinas	Nombre		Condiciones de operación		Sustancia	Tipo de escape					
			Presión entrada	Presión salida		Tipo de zona	Grado de escape				
	Turbina del compresor de gas de coquización		19	0,115	Gas de coquización, nafta de coquer estabilizada, LPG y fuel-gas ácido	Zona 2	Secundario				
	Turbina del ventilador de tiro forzado		19	3,05		Zona 2	Secundario				
	Turbina de la bomba de carga al horno		19	3,05	Hidrocarburos	Zona 2	Secundario				
	Turbina de la bomba de reflujo circulante		19	3,05	Hidrocarburos	Zona 2	Secundario				
	Turbina de la bomba de reflujo de la fraccionadora		19	3,05	Hidrocarburos	Zona 2	Secundario				
	Turbina de condensado		19	3,05							
Turbina de lubricación de 624K-01		19.4	2.1								

Tabla 23. Lista de equipos y fuentes de escape IV

Fuente de escape	Equipos especiales						
Filtros	Nombre	Condiciones de operación			Sustancia	Tipo de escape	
		Capacidad (Kg/h)	Presión (kg/cm^2)	Temperatura °C		Tipo de zona	Grado de escape
	Filtro de recirculación	30710	4,5	327	Producto de fondo de la fraccionadora	zona 2	Secundario
	Filtro de aceite de purga	99346	4,31	266	Producto de fondo de C09: enfriadora de purgas	zona 2	Secundario
	Filtro de fuel oil	4270	15,2	375	Fuel oil	zona 2	Secundario
	Filtro de aceite de lavado	49290	16,52	364	Gas oil de lavado	zona 2	Secundario
	Filtro de impulsión de 624G- 08A/B	40280	22	300		zona 2	Secundario

Fuente de escape	Equipos especiales						
Separadores	Nombre	Condiciones de operación			Sustancia	Tipo de escape	
		Capacidad Kg/h	Presión Kg/cm^2	Temperatura °C		Tipo de zona	Grado de escape
	Separador de vapor de stripping	1969	21	310	Vapor	Zona 2	Secundario

Fuente de escape	Equipoes especiales				
Unidades paquete	Nombre	Condiciones de operación	Sustancia	Tipo de escape	
		Capacidad m^3/h		Tipo de zona	Grado de escape
	Unidad paquete antiespumante	0,04	Dilución de antiespumante	Zona 2	Secundario
	Unidad paquete demulsificante	0,02	Demulsificante.	Zona 2	Secundario

Fuente de escape	Equipos especiales						
Silenciadores	Nombre	Condiciones de operación			Sustancia	Tipo de escape	
		Capacidad Kg/h	Presión Kg/cm^2	Temperatura °C		Tipo de zona	Grado de escape
	Silenciador cámaras de coque A y B	844	3,52	149			
	Silenciador cámara de coque C	844	3,52	310			
	Silenciador de vapor de escape	1969	21	538			
	Silenciado de vapor de media presión	2531	26.45	538			

Fuente de escape	Equipos especiales					
Horno de coque	Nombre	Condiciones de operación		Sustancia	Tipo de escape	
		Temperatura °C	Presión Kg/cm ²		Tipo de zona	Grado de escape
	Horno de coquización	639	58	Producto de fondo de la fraccionadora: hidrocarburos	zona 2	secundario

Tabla 24. Lista de equipos y fuentes de escape V

Fuentes de escape para polvos

Fuente de escape	Producto	Tipo de zona		Grado de escape
		Superficie de la cinta	Fuera de la cinta	
campa	Coque	Zona 22		Secundario
cinta transportadora 1	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
cinta transportadora 2	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
cinta transportadora 3	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
cinta transportadora 4	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
cinta transportadora 5	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
cinta transportadora 6	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
cinta transportadora 7	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
cinta transportadora 8	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
cinta transportadora 9	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
cinta transportadora 10	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
cinta transportadora 18	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
Alimentador vibrante 11	Coque	zona 21		Primario
Criba 12	Coque	Zona 22		Secundario
Molino de cilindros	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
Criba 14	Coque	Zona 22		Secundario
Criba 15	Coque	Zona 22		Secundario
Alimentador vibrante 17	Coque	zona 21		Primario
Extractores	Coque	Zona 22		Secundario
Cinta alimentación silos	Coque	zona 21	Zona 22	Primario/Secundario
Salida de silos	Coque	zona 21		Primario

Tabla 25. Lista de equipos y fuentes de escape VI

Fuentes de ignición en la campa de coque.

Superficies calientes:

En condiciones de operación normal, el coque se encuentra a temperatura ambiente. Además, contiene cierto grado de humedad y por esto se deja reposar y escurrir previo al cribado. Por todo ello, no existe riesgo de ignición de una nube de polvo de coque.

Otras posibles fuentes de ignición por generación de superficies calientes son los motores de los camiones y de las palas en el momento de la carga. La temperatura de estos motores oscila entre 80-100 °C por lo que queda un amplio margen hasta la temperatura mínima de ignición (280 °C).

Llamas y gases calientes:

Tanto las propias llamas como las partículas sólidas incandescentes, pueden producir la ignición de una atmósfera explosiva. Las llamas, figuran entre las fuentes de ignición más efectivas, por lo que deben excluirse totalmente en las áreas de riesgo de las zonas 0 y 20.

En la unidad no existen llamas abiertas y aquellas debidas a procesos de soldadura o cigarros se impiden y controlan mediante medidas organizativas (permisos de trabajo especiales, zonas para fumadores...)

Chispas de origen mecánico:

Los equipos mecánicos han sido fabricados siguiendo normas de reconocido prestigio internacional aplicables a la industria petroquímica y son mantenidos de acuerdo a protocolos de mantenimiento definidos.

Los acoplamientos de las máquinas están protegidos por guardas e impiden la formación de chispas por caída de objetos sobre las partes móviles. Las vibraciones se miden con regularidad en todas las máquinas. En las máquinas grandes se miden continuamente y se disparan automáticamente al detectar un valor peligroso.

Las máquinas cuya función es vehicular un producto inflamable tienen una envolvente cerrada. Entre la parte móvil y fija se encuentra el producto inflamable con una concentración superior al límite superior de explosividad, por lo que no se pueden originar en estas máquinas atmósferas explosivas gaseosas.

Se han verificado las condiciones de protección contra chispas de los equipos mecánicos situados en las zonas clasificadas de la unidad, siendo las de los más significativos las que se resumen en las tablas siguientes:

Cintas Transportadoras: K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, K-6, K-7, K-8, K-9, K-10, K-104							
Zona / producto		Fuente de ignición	Causas	Probabilidad de fuente de ignición	Medios de prevención	Probabilidad de fuente de ignición (después de medidas)	Nivel de riesgo de explosión
Tipo de zona	Clase de temperatura						
21	T4	Punto caliente en cinta transportadora	Gripado o bloqueo de cojinetes en eje de soporte	C	Engrase de los cojinetes en la revisión	B	2
21	T4	Punto caliente en eje motor de la cinta transportadora	Gripado o bloqueo de cojinetes en eje motor.	C	Engrase de los cojinetes en la revisión	B	2
21	T4	Electricidad estática	Correa de transmisión / Cinta transportadora	C	Cinta y correa de material antiestático	B	2
21	T4	Calentamiento	Deslizamiento de la cinta transportadora / correa de transmisión.	C	Dentado de la cinta / correa o rodillos de presión.	B	2
21	T4	Chispa mecánica	Rotura del acople	C	Verificación del alineamiento después de cada mantenimiento.	B	2
21	T4	Chispas / puntos calientes	Corrientes vagabundas	C	Toma de tierra en todas las partes de la cinta.	B	2

Tabla 26. Fuentes de ignición de origen mecánico en las cintas transportadoras.

Silos con pico vibrado: D-102, D-103							
Zona / producto		Fuente de ignición	Causas	Probabilidad de fuente de ignición	Medios de prevención	Probabilidad de fuente de ignición (después de medidas)	Nivel de riesgo de explosión
Tipo de zona	Clase de temperatura						
21	T4	Punto caliente en eje del vibrador.	Gripado o bloqueo de cojinetes en el eje.	C	Engrase de los cojinetes en la revisión	B	2
21	T4	Chispa mecánica / Punto caliente	Fricciones en la válvula de descarga	C	Aislamiento de las guías y tope de la válvula.	B	2
21	T4	Electricidad estática	Fricción del polvo de azufre con el silo.	C	Toma de tierra en todas las partes del silo.	B	2
21	T4	Chispas / puntos calientes	Corrientes vagabundas	C	Toma de tierra en todas las partes de la cinta.	B	2
21	T4	Chispa mecánica / Punto caliente	Fricciones en la boca de hombre al abrir.	C	Engrase de las bisagras y tope de apertura en material no metálico	B	2

Tabla 27. Fuentes de ignición de origen mecánico en los silos

Reacción química:

Las materias utilizadas en la unidad no son susceptibles de originar reacciones químicas violentas entre ellas.

Material eléctrico:

Todo el material eléctrico de la unidad es verificado periódicamente. Se dispone de certificación 532/8118-0/21AC-2004 por la que se acredita que las instalaciones eléctricas de la unidad (incluyendo la instrumentación) cumplen el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión aplicable. Por tanto, la probabilidad de que estas instalaciones supongan un punto de ignición es adecuado al exigible de acuerdo con la normativa vigente.

Electricidad estática:

Se pueden producir descargas de electricidad estática con capacidad de ignición si se dan determinadas condiciones. En condiciones operativas habituales pueden producirse descargas en las formas siguientes:

- Descargas de chispas: pueden producirse por la carga de partes conductoras no conectadas a tierra. Por ello, todos los equipos de la planta presentan continuidad eléctrica a tierra y no existe este riesgo.
- Descargas en penacho: pueden producirse en las partes cargadas de material no conductor, entre las que figuran la mayoría de las materias plásticas. Será fuente de ignición de polvos altamente inflamables. No existen partes de materias no conductoras en contacto con la materia pulverulenta que pueda cargarse.
- Descargas en haces deslizantes: pueden producirse en procesos de separación muy rápidos entre una superficie metálica y una película aislante. Durante la separación se establece un campo paralelo muy intenso entre la película y la superficie del metal, de tal forma que cuando aparece la primera descarga, el medio se ioniza fuertemente, haciéndose conductor y favoreciendo la propagación de la descarga. En la planta no se efectúan operaciones de este tipo.
- Descargas en conos de apilado: no son posibles este tipo de descargas debido a que la materia combustible pulverulenta que se manipula no es aislante, sino semiconductora. No es esperable, por tanto, la separación de cargas eléctricas en los silos.

Corrientes eléctricas parásitas, protecciones contra corrosión catódica:

No existe en la planta este tipo de fuente de ignición.

Rayos:

La unidad puede considerarse intrínsecamente autoprotegida contra daños de descargas atmosféricas de acuerdo con la especificación de diseño ED-P-01. 04-01 “Sistema de protección con pararrayos” de Repsol YPF dado que se cumplen las siguientes condiciones:

- Todas las partes metálicas de la unidad tienen continuidad eléctrica a tierra.
- La unidad no tiene puntos de emisión primarios activos durante tormentas eléctricas.
- El espesor de los elementos más esbeltos de la unidad es igual o superior al requerido por la citada especificación.

Campos electromagnéticos:

No existe en la planta ningún campo magnético lo suficientemente intenso para actuar como fuente de ignición.

Radiación electromagnética:

No existe en la planta ninguna radiación electromagnética lo suficientemente intensa para actuar como fuente de ignición.

Radiación ionizante:

No existe en la planta este tipo de fuente de ignición.

Ultrasonidos:

No existe en la planta este tipo de fuente de ignición.

Compresión adiabática, ondas de choque, gases circulantes:

No existen en la planta estos tipos de fuentes de ignición.

12.3.- Anexo III: Resultados de la clasificación de zonas para el método cuantitativo

Cálculo de la zona de riesgo		Extensión de la zona (m)	Distancia de referencia (m)	Distancia función altura de emisión (m)	Coeficiente que depende de varios factores como el LIE y del caudal	Coeficiente relativo al contenido de humedad del polvo	coeficiente relativo al tipo de ambiente, cerrado o abierto	coeficiente que depende de la velocidad del aire y de la velocidad
		dz	d0	dh	kd	ku	kta	kw
Campa	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cinta transportadora 1	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cinta transportadora 2	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cinta transportadora 3	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cinta transportadora 4	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3

Tabla 28. Resultados: distancia zonas de riesgo I

Cinta transportadora 5	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cinta transportadora 6	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cinta transportadora 7	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cinta transportadora 8	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cinta transportadora 9	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cinta transportadora 10	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3

Tabla 29. Resultados: distancia zonas de riesgo II

Cinta transportadora 18	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Alimentador vibrante K11	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Precribado: criba K12	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Molino de cilindros K13	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cribado primario Criba K14	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3

Tabla 30. Resultados: distancia zonas de riesgo III

Cribado secundario: Criba K15	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Alimentador vibrante K17	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Extractores K19-20-21-22-23-24	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Cinta alimentación silos	Coque I	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque II	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
	Coque III	0,84	1	0	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	2,52	1	0	1	1,2	0,7	3
Salidas de silos	Coque I	3,78	1	0,5	1	1,2	0,7	3
	Coque II	3,78	1	0,5	1	1,2	0,7	3
	Coque III	1,26	1	0,5	1	1,2	0,7	1
	Coque verde	3,78	1	0,5	1	1,2	0,7	3

Tabla 31. Resultados: distancia zonas de riesgo IV

13.- Bibliografía

Libros

- S.M Storch de Gracia. **“Manual de seguridad industrial en plantas químicas y petroleras”**. Fundamentos, evaluación de riesgos y diseño. (Ed McGraw-Hill 1998).
- Joaquim Casal, Helena Montiel, Eulalia Planas, Juan A. Vílchez. **“Análisis del riesgo en instalaciones industriales”**. (Ed UPC 1ª Edición).
- García Torrent, J; Querol Aragón, J; Medic Pejic, L. laboratorio oficial J. M Madariaga Universidad Politécnica de Madrid. **“Elementos para definir la extensión de zonas clasificadas ATEX por la presencia de polvo combustible”**.

Guías técnicas

- **Guía ATEX Junta de Castilla y León**. Consejería de Economía y Empleo Dirección General de Trabajo y Prevención de Riesgos Laborales Junta de Castilla y León
- **Guía Técnica CEI 31-56 (2005)**. “Construzioni per atmosfere esplosive per la presenza di polveri combustibili”.

Norma

- **REAL DECRETO 681/2003, de 12 de junio**. Ministerio de trabajo e inmigración. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo (INSHT). Boletín Oficial del Estado (BOE).
- **REAL DECRETO 400/1996 sobre Equipos y Sistemas de Protección previstos para su uso en atmósferas potencialmente explosivas**. Boletín Oficial del Estado (BOE).
- **Norma española UNE-EN 60079-10-1 “Atmósferas explosivas”**. Parte 10-1 sobre clasificación de emplazamientos en atmósferas explosivas gaseosas. (AENOR).
- **Norma española UNE-EN 61241-10. “Material eléctrico en presencia de polvo combustible”**. Parte 10 sobre clasificación de emplazamientos en donde están o pueden estar presentes polvos combustibles. (AENOR).
- **Norma española UNE-EN 60079-10-2. “Atmósferas explosivas”**. Parte 10-2 sobre clasificación de emplazamientos en atmósferas explosivas de polvo. (AENOR).